

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

“Criterios ambientales de cumplimiento para el desarrollo de proyectos de generación de
energía marina en Costa Rica.”

Mariana Fallas Madrigal

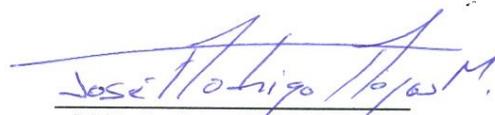
CARTAGO, junio, 2018



Criterios ambientales de cumplimiento para el desarrollo de proyectos de generación de energía marina en Costa Rica.

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de licenciatura

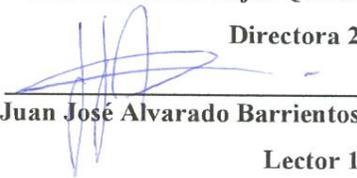
Miembros del tribunal



PhD. Rodrigo Rojas Morales
Director 1



Licda. Marianela Rojas Quirós
Directora 2



PhD. Juan José Alvarado Barrientos
Lector 1



MSc. Luis Guillermo Valerio Pérez
Lector 2



MSc. Diana Alexandra Zambrano Piamba
Coordinadora COTRAFIG



PhD. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química

MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera y durante el desarrollo de este proyecto.

A mis tutores, Rodrigo y Marianela, con quienes compartí la creación de futuros imaginarios y de quienes obtuve valioso aprendizaje durante esta investigación.

A los especialistas entrevistados, por compartir su experiencia y opinión visionaria, aporte fundamental para este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
1 INTRODUCCION	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 ANTECEDENTES.....	4
3.1.1 Situación energética mundial	4
3.1.2 Incursiones en energía marina.....	4
3.2 MARCO CONCEPTUAL DE FUENTES DE ENERGIA MARINA (EMR).....	6
3.2.1 Olamotriz.....	7
3.2.2 Eólica marina.....	9
3.2.3 Corrientes marinas.....	10
3.2.4 Mareomotriz / Rangos de Marea	11
3.2.5 Energía térmica oceánica	12
3.2.6 Gradientes de salinidad	13
3.3 ENERGIA MARINA EN COSTA RICA	14
3.3.1 Institucionalidad del sector energético en Costa Rica.....	14
3.3.2 Determinación de Potencial de Energía Marina.....	15
4 METODOLOGIA	18
4.1 DELIMITACION DEL CASO DE ESTUDIO	18
4.2 IDENTIFICACION DE RIESGOS Y FACTORES AMBIENTALES	18
4.2.1 Consulta a actores relacionados	19

4.3	PRIORIZACION DE FACTORES AMBIENTALES	20
4.4	ELABORACIÓN DE GUIA DE CRITERIOS AMBIENTALES	21
5	RESULTADOS Y DISCUSION	22
5.1	IDENTIFICACION DE RIESGOS Y FACTORES AMBIENTALES	22
5.1.1	Regulación ambiental asociada a la generación de electricidad a partir de EMR	22
5.1.2	Planificación Espacial Marina (PEM)	27
5.1.3	Riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos	41
5.1.4	Riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos	45
5.1.5	Cambios en el medio físico por extracción de energía	50
5.1.6	Efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos	52
5.1.7	Alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes	57
5.1.8	Riesgo de derrame de productos químicos	58
5.1.9	Análisis de partes interesadas	60
5.2	PRIORIZACION DE FACTORES AMBIENTALES	62
5.3	ELABORACION DE GUIA DE CRITERIOS AMBIENTALES	66
6	CONCLUSIONES	67
7	RECOMENDACIONES	69
8	REFERENCIAS	71
9.	APÉNDICES	92
	Apéndice 1. Metodología utilizada para establecer la figura de PrEM.	93
	Apéndice 2. Información de partes interesadas	95
	Apéndice 3. Herramienta de consulta a las partes interesadas	97
	Apéndice 4. Guía de criterios ambientales	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Aporte estimado de energías renovables a la producción eléctrica global	6
Figura 3.2. Esquemas de WECs.....	9
Figura 3.3. Esquemas de tipos de turbinas marinas de eje horizontal.....	11
Figura 3.4. Vista de corte transversal de un esquema de una turbina tipo Kaplan.....	12
Figura 3.5. Principio de funcionamiento de un OTEC.....	13
Figura 5.1. Mapa de las zonas de mayor importancia para la protección del Domo.....	28
Figura 5.2. Mapa de rutas migratorias de tortugas baula e idoneidad de hábitat de la ballena azul..	29
Figura 5.3. Tráfico marítimo comercial del Domo..	31
Figura 5.4. Efectos de la colisión de una ballena con las propelas de un barco.....	32
Figura 5.5. Mapa de la ubicación de las Areas Marinas Protegidas de Costa Rica.....	34
Figura 5.6. Sitios propuestos para la conservación de la biodiversidad marina.	35
Figura 5.7. Mapa de Areas Marinas de Uso Múltiple.	38
Figura 5.8. Trayectoria de vuelos trazados por radar en el OWF Nysted.	43
Figura 5.9. Alturas de olas significativas en escenario base y en presencia del parque olamotriz....	51
Figura 5.10. Sistema de interconexión eléctrica-marina-continental.	53
Figura 5.11. Vista del corte transversal de un cable de alimentación (AC) trifásico	54
Figura 5.12. Esquema de la configuración de cables de evacuación eléctrica para un OWF.	55
Figura 5.13. Colocación de cables de evacuación eléctrica de 245 kV a nivel costero.	55
Figura 5.14. Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales.	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Generación de electricidad en regiones pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE....	5
Tabla 5.1. Tipos de estudios requeridos para el consentimiento de proyectos olamotrices europeos	23
Tabla 5.2. Detalle de los sitios propuestos para la conservación de la biodiversidad marina.	36
Tabla 5.3. Actividades permitidas y prohibidas según la categoría de manejo.....	39
Tabla 5.4. Intensidades de diferentes sonidos antropogénicos.....	48
Tabla 5.5. Umbrales de disturbios y afectación en mamíferos marinos y peces.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.1. Resultados de la priorización de factores ambientales por puntaje en la MVVA. 64

LISTA DE SIGLAS Y ACRONIMOS

AAF	Áreas Ambientalmente Frágiles
AC	Alternating Current (Corriente alterna)
AM MMS	Área Marina de Manejo Montes Submarinos
AMP	Áreas Marinas Protegidas
AMPR	Áreas Marinas de Pesca Responsable
AMUM	Áreas Marinas de Uso Múltiple
BOEM	Bureau of Ocean Energy Management
CaCO3	Carbonato de calcio
CCCR	Corriente Costera de Costa Rica
CCEN	Contra Corriente Ecuatorial Norte
CEN	Corriente Ecuatorial Norte
CIU	Clasificación Internacional Industrial Uniforme
CO2	Dióxido de carbono
CO2 eq	Dióxido de carbono equivalente
DC	Direct Current (Corriente directa)
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica
EBSA	Áreas Ecológica o Biológicamente Significativas
EIA	Energy Information Administration
EMF	Electromagnetic Fields (campos electromagnéticos)
EMR	Energía Marina Renovable
ER	Energía Renovable
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IA	Impacto Ambiental
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
ICT	Instituto Costarricense de Turismo
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático)
IRENA	International Renewable Energy Agency
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MCI	Marine Conservation Institute
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MVVA	Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OEE	Ocean Energy Europe
OES	Ocean Energy Systems
OTEC	Ocean Thermal Energy Converters (Conversores de energía térmica oceánica)

OWC	Oscillating Water Column (Columna de agua oscilante)
OWF	Offshore Wind Farm (Parques eólico marinos)
OWSC	Oscillating Wave Surge Converter (Conversor de olas de oscilación horizontal)
PEM	Planificación Espacial Marina
PND	Plan Nacional de Desarrollo
PrEM	Proyecto de Energía Marina
PNE	Plan Nacional de Energía
PRETOMA	Programa de Restauración de Tortugas Marinas
PRO	Pressure Retarded Osmosis (Osmosis por presión retardada)
QGIS	Quantum GIS
RED	Reverse Electro Dialysis (Electrodiálisis inversa)
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
RMS	Root Mean Square
SEL	Sound Exposure Level (nivel de exposición sonora)
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
WDC	Whale and Dolphin Conservation
WEC	Wave Energy Converter (Conversor de energía de las olas)
WHO	World Health Organization
WSDOT	Washington State Department of Transportation
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical
ZEE	Zona Económica Exclusiva
ZMT	Zona Marítimo Terrestre

LISTA DE SIMBOLOS

°C	Grado (s) Celsius
cm	Centímetro (s)
dB	Decibel (s)
GW	Giga Watt (s)
g	Gramo (s)
Hz	Hertz
km	Kilómetro (s)
km²	Kilómetro (s) cuadrado
lx	Lux
m	Metro (s)
m/s	Metro (s) por segundo
MW	Mega Watt (s)
T	Tesla (s)
μT	Micro Tesla (s)
mT	Mili Tesla (s)
TW	Tera Watt (s)
TWh	Tera Watt (s) hora
TWh/año	Tera Watt (s) hora por año
V/m	Voltio (s) por metro
nV/M	Nano Voltio (s) por metro
μV/M	Micro Voltio (s) por metro
kW	Kilo Watt (s)
kW/m	Kilo Watt (s) por metro

RESUMEN

Las proyecciones mundiales de producción energética sitúan la energía producida en los océanos como una fuente renovable con un considerable potencial de crecimiento en los próximos años. Asegurar que el desarrollo y despliegue de tecnologías innovadoras que tienen lugar en el océano, no comprometan la sostenibilidad ambiental es uno de los retos que involucra la industrialización de los océanos. En ese sentido, esta investigación presenta una propuesta sobre los principales criterios ambientales que deben ser considerados para el desarrollo de un proyecto de energía marina en Costa Rica. Estos criterios resultan de una revisión de literatura, la cual fue utilizada como base para la construcción de una matriz de valoración. Los resultados obtenidos, respaldados por una consulta a especialistas nacionales e internacionales, permitieron la priorización de criterios ambientales que deben considerarse en el país. La priorización elaborada arrojó que los criterios relacionados con actividades de pesca representan los vacíos de información que deben atenderse con mayor urgencia, seguidos por aquellos relacionados a la conservación de los ecosistemas bentónicos. La información relevante se sintetizó en una guía de criterios y recomendaciones, de manera que aporte criterios de toma de decisiones para desarrolladores de la tecnología y entes reguladores asociados a este tipo de proyectos.

Palabras clave: Energía Marina, Olamotriz, Eólica Marina, Criterios Ambientales, Planificación Espacial Marina, Costa Rica.

ABSTRACT

Global energy production projections place ocean energy as a renewable energy with a considerable growth potential in the next years. Ensuring that the deployment of innovative new technologies in the oceans does not compromise environmental sustainability is one of the defining challenges of ocean industrialization. This research suggests main environmental criteria that need to be addressed for marine energy development projects in Costa Rica. Such collection of criteria has been derived from an extensive literature review, oriented by international findings leading a criteria assessment matrix. Supported by an experts' consultation process, results allowed environmental criteria prioritization process. Fisheries activities show a major urge in their assessment, followed by benthic ecosystems conservation actions. Relevant information was summarized into a guide, with the aim of providing decision-making criteria for developers and related regulatory authorities.

Key words: Marine Energy, Wave Energy, Offshore Wind, Environmental Criteria, Marine Spatial Planning, Costa Rica.

1 INTRODUCCION

Los océanos contienen el 97% de agua de la tierra y cubren el 71% de su superficie. La inmensidad de este cuerpo de agua lo ha hecho aparentar ser una fuente de alimento, transporte y recreación sin límites (Costanza, 1999). Si se considera el producto marino bruto anual del océano, es decir su valor económico anual, este se catalogaría como la séptima economía más grande del mundo (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2015). Las proyecciones mundiales de producción energética sitúan la energía producida en los océanos como una de las fuentes de energía renovable con un considerable potencial de crecimiento en los próximos años (Copping *et al.*, 2016b). Según la organización Ocean Energy Systems (OES) (2016b), el despliegue de energía oceánica es capaz de conseguir una reducción sustancial de emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial, llegándose a evitar la emisión de 500 millones de toneladas de CO₂ para el año 2050.

Los océanos se encuentran atravesando una serie de alteraciones debido a una era de industrialización sin precedentes, a los avances en tecnologías y a la necesidad de alimentación, energía y recursos para el ser humano, lo cual los ubica bajo una intensa presión (Wright, 2015). El autor menciona que la industria emergente reta todos los aspectos de dichos marcos de gobernanza, y suma cuestionamientos respecto a la propiedad y derechos del océano y sus recursos, el manejo de impactos ambientales y del espacio físico. Un océano saludable provee múltiples servicios ecosistémicos que eventualmente producirán beneficios sociales a través de provisiones de alimento, materiales, energía y recreación (Borja *et al.*, 2016). Asegurar que el desarrollo y despliegue de tecnologías innovadoras que tienen lugar en el océano no comprometa la sostenibilidad ambiental es uno de los retos de la industrialización de los océanos, especialmente en cuanto a su relación con la obtención de energía renovable. Existe la preocupación de que los regímenes regulatorios no sean tan exigentes ya que se trabaja mayoritariamente en objetivos globales de mitigación de carbono, y esto podría descuidar la atención que requieren los impactos ambientales locales que se generarían, dando paso así a un daño paradójico (Wright, 2015).

Los recursos renovables que se pueden extraer del medio marino incluyen energía de olas, corrientes de mareas, rangos de marea, así como gradientes de temperatura y de salinidad, corrientes oceánicas, y energía eólica marina (Huckerby, Jeffrey, de Andres, y Finlay, 2016a), mientras que los hidrocarburos, depósitos de carbón, módulos de manganeso, arena y grava, depósitos de estaño y titanio, y yacimientos de fosfato obtenidos del lecho marino conforman los recursos marinos no renovables (Neuweiler, 1978). A nivel internacional, la cadena de partes involucradas en proyectos

de energía marina renovable (EMR) son conscientes de ciertas interacciones entre los dispositivos de obtención de energía y el entorno, dando como resultado que existe un riesgo. En muchos casos, dicha percepción de riesgo se debe al alto grado de incertidumbre provocado por la escasez de datos obtenidos en el mar. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de que exista un riesgo real para la fauna y los hábitats marinos; de ahí que la falta de datos sigue frustrando la capacidad para diferenciar los riesgos reales de los potenciales (Copping *et al.*, 2016b). Los reguladores y desarrolladores requieren que la industria examine, minimice y aporte medidas de manejo de los efectos ambientales potenciales, a manera de reducir los impactos ambientales residuales (OES, 2014).

Los ambientes marinos de Costa Rica se caracterizan por sus dos costas: una costa Pacífica irregular, con una extensión aproximada de 1160 km y una heterogeneidad geomorfológica conferida por sus golfos, bahías, costas rocosas e islas; y una costa Caribe regular y menos extensa (200 km) que presenta playas arenosas en su parte norte y fondos carbonatados con arrecifes en su parte sur (Comisión Interinstitucional de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, 2008). El país cuenta con estudios que arrojan resultados positivos sobre el potencial para la generación eléctrica a partir de la energía del océano, y cada vez más investigaciones se unen para caracterizar dicho recurso (Brito, 2013; ICE, 2016; Segura *et al.*, 2016). A pesar de contar con un 25% del espacio terrestre bajo esquemas de protección, en Costa Rica no existía a principios del año 2000 una categoría de manejo específica para conservar y aprovechar sosteniblemente los recursos marinos, costeros y oceánicos (Rodríguez, 2011). Ante este panorama, se ha realizado un proceso de evaluación de la normativa nacional y paulatinamente se han creado categorías de manejo para gestionar específicamente ecosistemas y especies marinas, así como para aprovechar sosteniblemente estos recursos naturales.

En consecuencia, con lo señalado, resulta imperativo generar un precedente que aporte insumos para el manejo de las variables ambientales en el entorno marino. La ruta que se seleccionó para este proyecto establece una investigación de aquellos factores ambientales que pueden presentar vulnerabilidad frente al desarrollo de un proyecto de energía marina en Costa Rica, seguida de una priorización que permitió justificar el orden de aquellos criterios ambientales que se deban abordar ante un futuro desarrollo de proyectos de esta naturaleza, aportando así elementos que guíen la toma de decisiones tanto para aquellos entes reguladores ambientales, como para los desarrolladores de las tecnologías en Costa Rica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar los criterios ambientales de cumplimiento que se deben considerar para el desarrollo de un proyecto de generación de energía marina en Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar los riesgos ambientales asociados al desarrollo de un proyecto de generación de energía marina en Costa Rica.
2. Priorizar los factores ambientales que pueden ser afectados por el desarrollo de un proyecto de generación de energía marina en Costa Rica.
3. Elaborar una guía con los principales criterios ambientales a utilizar en la evaluación de impacto ambiental de un proyecto de generación de energía marina en Costa Rica.

3 REVISION DE LITERATURA

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 Situación energética mundial

En el contexto actual, predomina una matriz energética compuesta principalmente de combustibles fósiles (Poltronieri y Cabrera, 2016), las cuales tienen una incidencia directa y negativa en la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y en el incremento de la temperatura del planeta. El Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), (2001) define los gases de efecto invernadero con propiedades causantes del calentamiento global. Con respecto al sector energía, se conoce que es fuente de al menos dos terceras partes de las emisiones de GEI (IEA, 2016). Entre los años 2000 y 2010 el aumento de GEI fue de un 47%, producido por la obtención de energía (IPCC, 2014). Por lo tanto, la transformación de la matriz energética es esencial en el esfuerzo mundial por frenar el calentamiento global (Luderer *et al.*, 2012).

3.1.2 Incursiones en energía marina

La presión de combatir el cambio climático, la acidificación de los océanos, y la preocupación por actuar ante la decadente seguridad energética, ha desembocado en el desarrollo de nuevas formas de obtención de energía renovable. Esto ha fortalecido la exploración de fuentes de generación energética provenientes del océano (Copping, *et al.*, 2015). Se estima que la energía marina suplirá electricidad, agua para consumo y otros productos a precios competitivos, generando empleo y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Al mismo tiempo reduce las emisiones de carbono del sector energía, siempre y cuando minimice los impactos en el ambiente marino (Huckerby *et al.*, 2016).

Como Huckerby *et al.* (2016) mencionan, bajo la Visión Internacional de Energía Oceánica en el 2017, emitido por la OES, este tipo de energía puede ser obtenida de, al menos, seis diferentes fuentes energéticas que derivan del océano, así como la energía eólica marina. Esta última no es considerada una forma de energía oceánica, ya que depende de la energía del viento, sin embargo, puede ser similar en tanto está localizado en el mismo tipo de ambiente, y potencialmente se pueden encontrar varios sinergismos entre estos tipos de energía (Esteban y Leary, 2012).

Proyecciones presentadas por la EIA (2016) muestran que, en términos de uso de energías renovables no hidroeléctricas para generación de electricidad, para el año 2040 las regiones no pertenecientes a

la Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE) superarán a los países pertenecientes. En la Tabla 3.1 se observan las proyecciones de generación neta de electricidad categorizadas como “biomasa, residuos, y de corrientes marinas/olamotriz/oceánica”, seguidas del total de fuentes de energía renovables (ER). Según dicha proyección, el aumento total de generación por fuentes renovables es de 2.9% anual. La principal fuente en aumento proviene de las energías no hidroeléctricas, las cuales según la EIA (2016) aumentan 5.7% anual, principalmente debido a que en los países miembros de la OCDE los recursos hidroeléctricos ya han sido desarrollados, mientras que las regiones no pertenecientes presentan el mayor potencial de producción de energía en fuentes no hidroeléctricas.

Tabla 3.1. *Generación neta de electricidad en regiones pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE, por fuentes entre los años 2012 y 2040. Fuente: EIA, (2016).*

Región	Generación de electricidad (TWh)		Cambio promedio anual (%)
	Año 2012	Año 2040	
OCDE	281	522	2.2
Total ER	2 168	3 987	2.2
No-OCDE	110	725	7.0
Total ER	2 559	6 641	3.5
Mundial	391	1247	4.2
Total ER	4 727	10 628	2.9

La información recopilada, junto con otros estudios recientes, muestran la posibilidad de que alrededor de 7% de la producción global de electricidad para el 2050 provenga específicamente de los océanos (Esteban y Leary, 2012). Según la IEA (2016), a nivel global el potencial de generación de energía eléctrica a partir de EMR es de aproximadamente 300 GW, proveniente de las corrientes marinas y oceánicas, amplitud o rango de mareas y de las olas. Se estima que esta misma cantidad sea la capacidad instalada para el año 2050. Según la Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2017) y el World Energy Council (2016), para finales del año 2016, la capacidad instalada de energía marina, en su mayor parte mareomotriz, fue de aproximadamente 536 MW.

En el caso del recurso eólico marino, se ha calculado su potencial en 58 TW a nivel mundial, tomando en cuenta los países con potencial mayor a 200 GW (Makridis, 2013). Se proyecta que para el año 2020 la Unión Europea y China instalen 40 y 30 GW de este recurso respectivamente, así como que para el año 2030 se aporte un aumento de 110 GW por parte de la Unión Europea y que USA instale 54 GW (Azau y Bianchin, 2011; Smyth *et al.*, 2015). En América Central y Sur se ha reportado un potencial de aproximadamente 9 TW (Makridis, 2013). Para el año 2016, el recurso eólico marino aportó un total de 14.4 GW de energía a la red (REN21, 2017).

El rápido crecimiento de este recurso ha desembocado en que para el año 2016 a nivel global el aumento anual en la capacidad instalada de potencia de las fuentes renovables fuera mayor que el aumento neto de capacidad proveniente de todos los combustibles fósiles combinados. La energía renovable adicionada a la capacidad de generación global fue de 62%, abarcando un 30% de la capacidad de generación mundial, la cual es suficiente para suplir aproximadamente 24.5% de la demanda de electricidad global, como se observa en la Figura 3.1, y presentando un aporte de 0.4% proveniente del grupo de energía marina, térmica solar, y geotérmica (REN21, 2017).

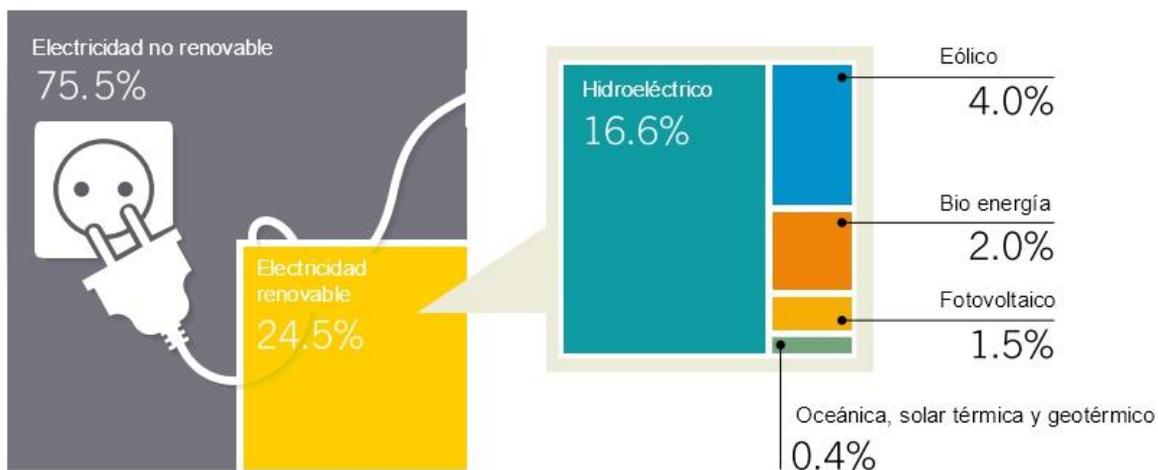


Figura 3.1. Aporte estimado de energías renovables a la producción eléctrica global para el final del año 2016. Fuente: REN21, (2017).

El mercado dominante de las tecnologías de energía oceánica está proyectado a la generación de electricidad conectada a la red, debido a las grandes oportunidades que ofrece este mercado. La mayoría de las tecnologías se están desarrollando para la generación de energía a gran escala (Huckerby *et al.*, 2016).

3.2 MARCO CONCEPTUAL DE FUENTES DE ENERGIA MARINA (EMR)

La producción de energía marina requiere de distintos tipos de tecnología, dado que las variaciones tanto en recursos marinos como en la ubicación, necesitan diferentes conceptos tecnológicos y soluciones (Ocean Energy Forum, 2016). Las tecnologías investigadas hasta el momento comprenden energía de olas (Boehlert y Gill, 2010; Ingram *et al.*, 2011; Esteban y Leary, 2012; Magagna y Uihlein, 2015; Copping *et al.*, 2016; Huckerby *et al.*, 2016; Ocean Energy Forum, 2016), corrientes de mareas (Ingram *et al.*, 2011; Copping *et al.*, 2016; Huckerby *et al.*, 2016), rangos de marea (Huckerby *et al.*, 2016; Ocean Energy Forum, 2016), así como gradientes de temperatura (Boehlert y

Gill, 2010; Esteban y Leary, 2012) y de salinidad (Magagna y Uihlein, 2015; Copping *et al.*, 2016; Huckerby *et al.*, 2016; Ocean Energy Forum, 2016), corrientes oceánicas (Boehlert y Gill, 2010; Copping *et al.*, 2016; Huckerby *et al.*, 2016b), y energía eólica marina (Boehlert y Gill, 2010; Copping *et al.*, 2015). Adicionalmente, se incluye la bioenergía obtenida de biomasa marina, particularmente aquella proveniente de algas marinas (Castro, 2016). En adelante se hace referencia a estas fuentes de energía como “energía marina”. En este capítulo se presenta el detalle sobre las principales de estas fuentes.

Se estableció un orden de estudio de estas fuentes de energía que otorga mayor peso al estudio de las fuentes olamotriz y eólica marina (ya que las investigaciones claves como primera aproximación a la caracterización de dichos recursos en Costa Rica se presentan en las secciones posteriores), seguido de la mareomotriz y de corrientes, las cuales cuentan con amplia investigación en su campo, pero presentan menor potencial en las costas costarricenses. Por último, tecnologías como OTEC (Ocean Thermal Energy Converters) para diferenciales de temperatura, y RED (Reverse Electro Dialysis) para diferenciales de salinidad, tecnologías que se amplían en las siguientes secciones y que presentan menor trayecto de investigación, así como poca maduración en el desarrollo de sus tecnologías, se les asigna el tercer nivel de relevancia.

3.2.1 Olamotriz

El oleaje es generado por la acción del viento que sopla sobre la superficie del océano. La altura de las olas y, por lo tanto, su energía es mayor en latitudes más altas (Huckerby *et al.*, 2016b). El potencial teórico mundial de la energía obtenida del oleaje se ha calculado en aproximadamente 30 000 TWh /año según modelaciones realizadas por (Mofk, Barstow, Kabuth, y Pontes, 2010); y al que hacen referencia reportes de instituciones como el IPCC (Lewis *et al.*, 2011), la OES (Huckerby *et al.*, 2016) y el World Energy Council (2016).

Los conversores de energía de las olas (WEC por sus siglas en inglés) son los que aprovechan el movimiento de las olas. Su ubicación es flexible, estos se pueden colocar en la costa, cerca de ella, o mar adentro a profundidades mayores de 100 m (Ocean Energy Forum, 2016). Las diferencias entre las tecnologías de costa, de profundidades intermedias o de alta mar están asociadas a restricciones técnicas de profundidad máxima de los dispositivos (Brito e Melo, 2013).

En los últimos 10 años se han realizado esfuerzos en el desarrollo de tecnologías para el uso de la energía del oleaje (Huckerby *et al.*, 2016). Los WECs son generalmente de pequeña capacidad (~ 1 MW) y están destinados a ser modulares e instalados en parques de múltiples unidades. Hay poco

consenso para el diseño de los dispositivos de energía undimotriz ya que, debido a la diferente naturaleza del recurso del oleaje, parece improbable que domine un único concepto. La mayoría de los convertidores de energía del oleaje deben ser capaces de operar en una amplia gama de condiciones de mar y sobrevivir a condiciones extremas en caso de tormentas; por lo tanto, los dispositivos tienen que ser sintonizados con las condiciones locales, en continuo cambio y ser lo suficientemente robustos para funcionar sin supervisión. Las principales tecnologías incluyen dispositivos atenuadores, de rebosamiento, de columna de agua oscilante, convertidores de olas de oscilación horizontal, puntos de absorción y otros (Huckerby *et al.*, 2016). Los esquemas de dichos dispositivos se observan en las Figura 3.2 (a), (b), (c), (d) y (e) respectivamente.

Los dispositivos atenuadores son generalmente largas estructuras flotantes, alineadas paralelamente a la dirección del oleaje, absorben parte de la energía de las olas al amortiguar al oleaje y producir energía progresivamente. Los dispositivos de rebosamiento, llamados también terminadores, son un sistema que, a través de paredes convergentes y una rampa, concentra y peralta al oleaje que rebosa, dirigiéndolo hacia un depósito de almacenamiento elevado. En un dispositivo de columna de agua oscilante (Oscillating Water Column, OWC por sus siglas en inglés), una columna de agua se mueve ascendente y descendente con el paso de las olas, actuando como un pistón para comprimir y descomprimir una columna de aire; este aire alternativo es entonces conducido a través de una turbina de aire para impulsar un generador. Los dispositivos convertidores de olas de oscilación horizontal (Oscillating Wave Surge Converter, OWSC por sus siglas en inglés) extraen energía del movimiento horizontal del oleaje cerca de la costa en donde el movimiento del fluido realiza un movimiento de vaivén y normalmente acoplado a un generador directamente. Finalmente, un punto de absorción es un dispositivo flotante, que absorbe la energía de las olas de todas las direcciones. Una amplia variedad de diferentes dispositivos de absorción puntual han estado y están todavía en desarrollo, como los dispositivos fijados en el fondo marino, o completamente flotantes (O'Sullivan *et al.*, 2011; Huckerby, *et al.*, 2016).

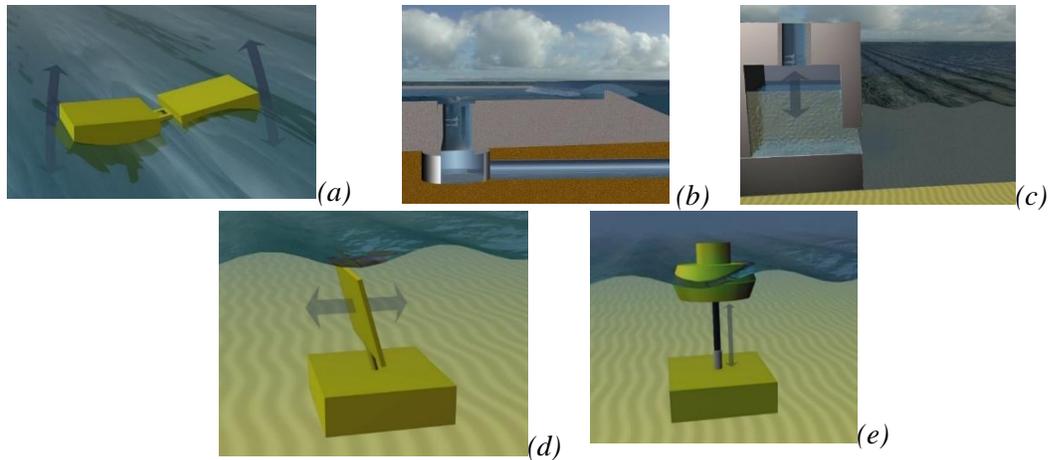


Figura 3.2. Esquemas de WECs. (a) Atenuadores flotantes (b) Rebosamiento (c) OWC (d) OWSC (e) Punto de absorción.
Fuente: Aquaret, (2012).

3.2.2 Eólica marina

La energía eólica actualmente es utilizada para generar electricidad, en su mayoría por medio de turbinas eólicas. Todas las turbinas eólicas operan bajo el mismo principio: un cuerpo de aire fluye a través de aspas de las turbinas eólicas, provocando así que giren sobre su propio eje (Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), 2017). Según esta referencia, estas aspas están conectadas a un eje de transmisión que acciona un generador eléctrico para producir electricidad. El recurso eólico sobre cuerpos de agua es generalmente más fuerte, consistente y fluido que sobre la tierra (Sun, Huang, y Wu, 2012). Mar adentro resultan mejores las condiciones para la generación eólica, ya que la rugosidad de la superficie es menor y no hay obstáculos que modifiquen los patrones de viento (Díaz y Ángeles, 2015).

En general los dispositivos que transforman la energía cinética del flujo de viento en energía eléctrica constan básicamente de tres componentes: una turbina eólica, un generador eléctrico y un convertidor de potencia. Su funcionamiento se basa en el movimiento del rotor transferido al eje principal a través de una caja multiplicadora que aumenta la velocidad del rotor hasta la velocidad de rotación de un generador, convirtiéndose así en energía eléctrica, la cual pasa por un transformador que eleva la tensión desde el nivel de generación hasta el nivel de la red eléctrica a la que se conecta (Díaz y Ángeles, 2015).

Las turbinas eólico-marinas se han diseñado con algunas modificaciones específicas para resistir el ambiente marino, tales como protección contra la corrosión, control climático interno, pintura externa de alto grados y grúas de servicio incorporadas. El diseño típico de turbinas eólico marinas incluye

tres aspas sobre un eje horizontal, rotores de diámetros entre 65 y 130 m con controladores de ángulo de rotación, y controladores de aspas y plumas para modificar la orientación de las aspas y así las fuerzas aerodinámicas (Sun *et al.*, 2012). Del mismo modo incorporan luces de advertencia para vuelos nocturnos, marcadores luminosos en la base de la torre, y señalización para condiciones de visibilidad de navegación reducida por neblina (National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2010). En Europa, la mayoría de turbinas instaladas en el año 2016 incluyen bases de mono pilotes (88%) seguido de estructuras tipo jacket (12%) (REN21, 2017).

El soporte de dichas estructuras consiste en torres y cimientos, la subestructura más común es el mono pilote, el cual consta de un tubo de acero con una pared de grosor aproximado de 60 mm y diámetros de 6 m (Sun *et al.*, 2012). Esta configuración requiere de embarcaciones y equipo especializado para trasladar el mono pilote hasta el fondo marino, así como para su colocación y la de la turbina (NREL, 2010). La selección del tipo de torre depende del sitio, por lo cual en algunos casos resulta más económico utilizar concreto como alternativa, ya que resulta confiable, duradero y requiere menos mantenimiento, adicionalmente se obtienen beneficios como la flexibilidad de su construcción ya que puede ser construido a la medida (Sun *et al.*, 2012).

3.2.3 Corrientes marinas

El movimiento de las masas de agua oceánica es impulsado por el viento, el calentamiento solar de las aguas superficiales cerca del ecuador, o por las variaciones de densidad y salinidad. A diferencia de las corrientes costeras, las corrientes oceánicas son relativamente más profundas (<1.000 m), estacionales, lentas (~1 m/s) y unidireccionales (Huckerby *et al.*, 2016).

En años recientes se han propuesto y probado varios conceptos tecnológicos de diferentes dispositivos: turbinas de eje horizontal, turbinas de eje vertical, turbinas de flujo cruzado, y otros conceptos tales como dispositivos de perfil hidrodinámico oscilante o hélices helicoidales (Huckerby *et al.*, 2016). Según Huckerby *et al.* (2016b), lo indicado en “Una Visión Internacional de Energía Oceánica para el año 2017”, concluye que en los últimos 10 años se ha presentado una convergencia hacia turbinas de eje horizontal, similares a los generadores eólicos. Estas tienen un rotor de 2 o 3 álabes que gira alrededor de un eje montado horizontalmente. Varios ejemplos de esta turbina se muestran en la Figura 3.3. El movimiento cinético de la corriente de agua crea una fuerza de sustentación sobre los álabes, que hacen girar el rotor e impulsan un generador eléctrico. En la actualidad estas tecnologías están alcanzando un cierto grado de madurez en su desarrollo e implementación.

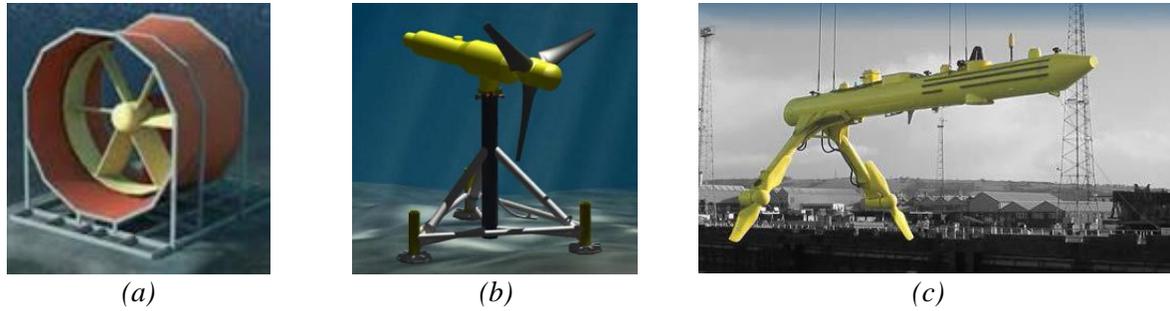


Figura 3.3. Esquemas de tipos de turbinas marinas de eje horizontal: (a) Esquema de una turbina de aspas integradas en un rotor y rodeadas de un conducto que busca maximizar la extracción de energía del flujo entrante, (b) Esquema del dispositivo “DeepGen” de tres aspas con una base de tres pilotes fijados al fondo marino y (c) Dispositivo “SR2000” flotante con dos turbinas de dos aspas de acero y con líneas de anclaje. Fuentes: (a) Nachtane *et al.*, (2017), (b) y (c) Walker, Howell, Hodgson, y Griffin, (2013).

3.2.4 Mareomotriz / Rangos de Marea

La energía que puede obtenerse de la amplitud de marea es energía potencial derivada de los cambios de altura en el nivel del mar y son causados por la atracción gravitacional de la luna, el sol y otros cuerpos astronómicos en masas de agua oceánicas (Huckerby *et al.*, 2016b; Scientific American, 1978). El ascenso y descenso de la marea ofrece la oportunidad de atrapar una pleamar, retrasar su descenso detrás de un dique o embalse y aprovechar la energía potencial de su flujo gravitacional antes del siguiente ciclo de marea. El potencial teórico mundial de la energía de marea, incluyendo las corrientes de marea, ha sido estimado en torno a 1.200 TWh/año (OES, 2016). La producción de energía mareomotriz se puede llevar a cabo de tres maneras: flujo, reflujos, o en ambas direcciones. Se trata de una cuenca de almacenamiento de agua, rodeada de una barrera con turbinas incorporadas a lo largo de su estructura. En este caso la electricidad es generada tanto cuando la marea sube, llenando la cuenca, como cuando baja, permitiendo su vaciado (Waters y Aggidis, 2016).

Un selecto grupo de turbinas con posibilidades de aplicación en energía mareomotriz incluye la turbina de bulbo modificada con dos juegos de álabes directores, un tornillo de Arquímedes, un giróscopo, y una turbina doble rotativa inversa. Sin embargo, el diseño más seleccionado incluye una turbina de bulbo tipo Kaplan, la cual se observa en la Figura 3.4 (Waters y Aggidis, 2016).

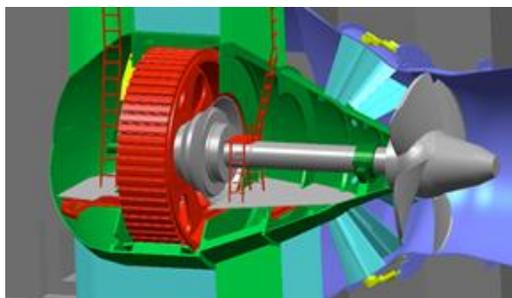


Figura 3.4. Vista de corte transversal de un esquema de una turbina tipo Kaplan. Fuente: TIWAG, (2017).

3.2.5 Energía térmica oceánica

El potencial para la energía térmica del océano surge de la diferencia de temperaturas entre el agua superficial cercana a los trópicos, que puede estar a más de 25°C más caliente que la temperatura del agua a mayores profundidades, donde esta es relativamente constante en torno a los 5°C, situación que sólo es posible en los mares cerca del ecuador (Yuan, *et al.*, 2015). Llevar grandes cantidades de agua de mar fría a la superficie permite un proceso de intercambio de calor con las aguas superficiales más cálidas y de este intercambio se puede extraer energía. El potencial mundial de conversión de energía térmica oceánica ha sido calculado aproximadamente en 44.000 TWh/año (Yoon *et al.*, 2014; OES, 2016). Osorio *et al.*, (2016) mencionan que la International Renewable Energy Agency (IRENA) reporta para el 2014 que algunos países y territorios pueden proveer sitios aptos para instalaciones de dispositivos de conversión de energía térmica del océano (OTEC), ubicados en su mayoría en islas tropicales. Los autores mencionan entre las principales ventajas que presenta esta tecnología la facilidad para potabilización de agua y la no intermitencia de generación.

Los OTEC presentan como base ciclos Rankine, en los que se utiliza el agua superficial del océano, la cual se encuentra normalmente cerca de los 25°C, para evaporar el líquido de trabajo que presenta un punto de ebullición relativamente bajo, por ejemplo, amonio. El vapor se expande y hace girar una turbina acoplada a un generador para producir electricidad. El vapor es luego enfriado por agua que ha sido bombeada desde la fase más profunda del océano, en donde la temperatura es de aproximadamente 5°C. Esto produce la condensación del fluido de trabajo, obteniendo así su forma líquida nuevamente, de manera que puede ser reutilizado, como se muestra en la Figura 3.5 (TU-Delft, 2017).

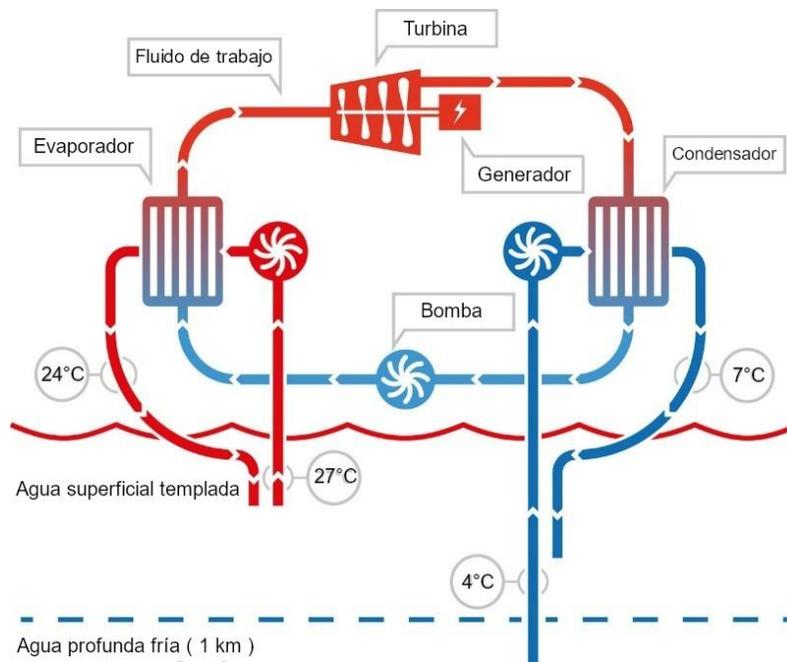


Figura 3.5. Principio de funcionamiento de un OTEC. Fuente: TU-Delft, (2017).

A pesar de los esfuerzos de algunos físicos e ingenieros, el uso de esta tecnología no se ha extendido ampliamente por motivos como baja eficiencia de los equipos, costos de producción superiores a los de plantas convencionales, entre otros (Baldi, 2014). Hasta el momento la mayoría de investigaciones han sido dedicadas a la mejora de la eficiencia térmica del ciclo OTEC, el flujo de trabajo que ha comprobado ser el más eficiente es una mezcla binaria de amonio y agua (Yuan *et al.*, 2015).

3.2.6 Gradientes de salinidad

El agua de mar es aproximadamente 200 veces más salina que el agua dulce de los ríos, la diferencia de salinidad global proviene de los movimientos submarinos y de la corriente superficial. La salinidad relativamente alta del agua de mar establece un potencial de presión químico con el agua fresca de río, que se puede utilizar para generar electricidad. Esta energía alcanza su mayor potencial en las desembocaduras de los principales ríos, donde grandes masas de agua dulce fluyen hacia el mar. El potencial teórico mundial para la energía de gradiente salino se ha estimado en 1.650 TWh/año (OES, 2016). Los proyectos de obtención de esta fuente de energía han sido objeto de proyectos activos de I+D (Huckerby *et al.*, 2016) y pueden funcionar en lugares costeros, por ejemplo estuarios. Existen varios métodos para generar energía a partir del diferencial de salinidad siendo los más destacados la Osmosis por Presión Retardada (PRO por sus siglas en inglés) y la Electrodialisis Inversa (RED); ésta última más común.

En una celda de RED, los compartimientos entre las membranas están llenos de soluciones concentradas y diluidas de sal intercaladamente. El gradiente de salinidad da como resultado una diferencia de potencial a través de las membranas. La diferencia de potencial químico entre las soluciones genera el transporte de iones a través de las membranas, la corriente iónica generada es transformada en corriente electrónica en un circuito externo a partir de reacciones de óxido-reducción en los electrodos, y de esta manera se hace posible la obtención de energía eléctrica (Vallejo, 2013).

3.3 ENERGIA MARINA EN COSTA RICA

3.3.1 Institucionalidad del sector energético en Costa Rica

A nivel nacional, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es la institución autónoma del Estado con el mandato legal de proveer la energía eléctrica que la sociedad requiera para su desarrollo, el ICE armoniza sus esfuerzos con el resto del Sector Energético del país cuyo ente rector es el Ministerio de Ambiente y Energía. Los planes de desarrollo eléctrico del país son elaborados por el ICE en conformidad con las políticas y lineamientos generales del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y del Plan Nacional de Energía (PNE) que publican el Ministerio de Planificación y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (ICE, 2017).

El PND es el marco orientador del quehacer del Gobierno de la República, su contenido enuncia los pilares estratégicos, prioridades, objetivos, programas y proyectos indispensables para avanzar hacia el desarrollo sostenible (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2014). Dicho plan es vinculante para entidades públicas, ministerios y demás órganos del Estado y constituye el marco global que orientará los Planes Estratégicos Sectoriales, Regionales y Operativos Institucionales (ICE, 2017).

Del mismo modo, el PND busca dar un salto cualitativo hacia un horizonte caracterizado por la predominancia de un bajo nivel de emisiones en la economía nacional, el desarrollo de procesos de generación y uso de energía más respetuosos de los límites del entorno natural, la construcción de una matriz energética más capaz de sostener la competitividad de las industrias nacionales y una mayor contribución del sector de energía a la calidad de vida de la población (MINAE, 2015). Dentro de “Los Grandes Desafíos” del PND, se propone reducir la dependencia de combustibles importados, aprovechar mejor las fuentes de energía renovable del país y llegar a producir el 100% de la electricidad a partir de fuentes de energía renovables, de manera que el actual PND refuerza la posición política del país en los temas de carbono-neutralidad y uso de fuentes renovables de energía (ICE, 2014).

Por su parte el PNE, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Energía y basado en el PND, aspira tanto a enfrentar los retos más acuciantes en materia energética que enfrenta el país en el presente, como a provocar transformaciones profundas en los procesos de producción, distribución y consumo de energía. El plan busca dar un salto cualitativo hacia un horizonte caracterizado por la predominancia de un bajo nivel de emisiones en la economía nacional, el desarrollo de procesos de generación y uso de energía más respetuosos de los límites del entorno natural, la construcción de una matriz energética más capaz de sostener la competitividad de las industrias nacionales y una mayor contribución del sector de energía a la calidad de vida de la población (MINAE, 2015).

Según el MINAE (2015), el país debe aspirar a contar con un sistema energético nacional con un bajo nivel de emisiones de GEI, basado en el uso de fuentes limpias y renovables, en condiciones de absorber los aumentos en la demanda de manera consistente. Dentro de éstas, las energías renovables no convencionales son un conjunto de fuentes energéticas que según el PNE requieren mayor investigación e innovación. Sin embargo, siguiendo los lineamientos mencionados de producción de energía, el ICE busca auspiciar por medio de Plan de Fuentes Renovables no Convencionales, energías como geotermia de baja entalpía, biomasa, solar, energía cinética de las olas, y otros (ICE, 2016).

El Plan de Fuentes Renovables no Convencionales, incluye un capítulo exclusivo a la identificación del potencial y tecnologías existentes de generación eléctrica con energías marinas. Este plan, actualmente en curso, incluye principalmente estudios del potencial de energía marina en Costa Rica, y establecimiento de estaciones de medición del recurso (ICE, 2012).

3.3.2 Determinación de Potencial de Energía Marina

Olamotriz

Ana Brito e Melo (2013), en su informe “Costa Rica, Determinación del Potencial de Energía Marina para Generación Eléctrica”, desarrolló una investigación con el fin de analizar el potencial de generación eléctrica del país a partir de fuentes de energía marina disponible en olas, corrientes y mareas. La autora utilizó un modelo de simulación computacional de oleaje espectral llamado Wavewatch III desarrollado por la N.O.A.A. (National Oceanic and Atmospheric Administration por sus siglas en inglés). Además, comparó sus resultados con bases de datos de varias entidades para estudios sobre clima y recursos energéticos marinos a nivel mundial, como la National Data Buoy Center, el cual posee múltiples sistemas de monitoreo de boyas alrededor del planeta. En dicha investigación se seleccionaron diversos puntos de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) nacional y se

evaluaron datos entre los años 2000 y 2009 (Segura *et al.*, 2016). Este estudio incide sobre toda la ZEE de Costa Rica (Brito e Melo, 2013).

La energía olamotriz es una fuente atractiva para abastecer el consumo de la demanda de energía eléctrica del país, esto porque el oleaje en la zona de estudio resulta bastante constante en el transcurso del año (Baldi, 2014). Brito e Melo (2013), muestra que el potencial teórico bruto de los mares costarricenses en energía olamotriz es de aproximadamente 16 GW, el Potencial teórico accesible estimado es de 7 GW, y finalmente, el Potencial técnico aprovechable es de 2,3 GW. Cabe resaltar, que el potencial técnico aprovechable de 2,3 GW fue calculado por Segura *et al.*, (2016) con base en la eficiencia de dispositivos olamotrices existentes a nivel mundial, siendo éstas aún limitadas y en desarrollo, por lo que, si se diseñan y construyen sistemas de mayor eficiencia, el aprovechamiento puede ser mayor, buscando alcanzar los 7 GW accesibles en Costa Rica.

Por último, teniendo en cuenta los valores expuestos, se estima que el potencial técnico de producción anual de energía eléctrica es 3,8 TWh en la ZEE del Mar Caribe y en 15 TWh en la ZEE del Océano Pacífico. En consecuencia, el potencial técnico de producción de energía eléctrica a partir de la energía de las olas en Costa Rica es de 18,8 TWh/año (Brito e Melo, 2013).

Eólica marina

Dado que el recurso eólico sobre cuerpos de agua es generalmente más fuerte, consistente y fluido que sobre tierra, (Sun *et al.*, 2012) y considerando que el potencial eólico en tierra firme de Costa Rica para un factor de planta superior al 30%, alcanza los 2 400 MW de capacidad, lo que representa una energía anual de 6 700 GWh (ICE, 2017); ha resultado de interés la incursión en investigación en el tema. Actualmente el ICE y la Universidad Sapienza de Roma, Italia, acordaron la elaboración de una ruta concreta de investigación en energía eólica sobre el mar, esto basándose en un convenio existente entre las partes (Diario Extra, 2016).

OTEC

Brito e Melo (2013) menciona la importancia de la ubicación geográfica de Costa Rica, ya que se encuentra situada en una región del globo donde el recurso a la energía proveniente del OTEC se considera uno de los mejores, pues está situada en las latitudes tropicales, entre los 20°N y 20°S. Como se mencionó, el OTEC utiliza las diferencias de temperatura entre las aguas superficiales, calientes y tropicales ($T \approx 22-29^{\circ}\text{C}$), y las aguas oceánicas, frías ($T \approx 4-5^{\circ}\text{C}$) y con profundidades que pueden llegar hasta los 1000 m. En este contexto, la autora destaca que, en la plataforma

continental de Costa Rica, en puntos relativamente próximos a la costa se alcanzan grandes profundidades, lo cual es un factor ventajoso para la utilización del potencial OTEC.

Estudios de investigación académica como el realizado por Baldi (2014), han ubicado 7 regiones en la costa Guanacasteca de Costa Rica, en las cuales existe un elevado gradiente térmico, a distancias de aproximadamente 25 km de la costa en los que la capacidad de la planta teóricamente podría ubicarse entre 44,8 MW y 51,4 MW. Esta fuente puede utilizarse como un suministro constante de energía, ya que la variabilidad de las temperaturas tanto a nivel horario como mensual es muy poca y permite proyecciones de un factor de planta que cercano a 1, ideal para el abastecimiento de “energía base”.

4 METODOLOGIA

4.1 DELIMITACION DEL CASO DE ESTUDIO

Como se evidenció en la revisión de literatura, las tecnologías utilizadas para obtener EMR comprenden un amplio rango de diseños, de manera que cada tecnología presenta interacciones catalogadas tanto como un riesgo, así como también beneficiosas dentro del ambiente marino que le rodea. Con el objetivo de señalar los principales riesgos ambientales de un proyecto de EMR se estableció la figura de Proyecto de Energía Marina (PrEM) como figura globalizadora de las tecnologías, al mismo tiempo delimitando las especificaciones técnicas de trabajo. Las especificaciones de cada PrEM se presentan en el Apéndice 1. Metodología utilizada para establecer la figura de PrEM.

La delimitación geográfica con la que se trabajó se basó en que la ubicación de dispositivos eólico marinos se ha presentado a distancias desde la costa de: 2 km: (Langhamer, 2009; 2010 y 2012), 15 – 20 km (Roddier, *et al.*, 2010), 30 y 50 km (Kerckhof, D *et al.*, 2011). Mientras que a distancias de entre 18 y 20 km para parques olamotrices y de corrientes (Ingram *et al.*, 2011; Witt, *et al.*, 2012).

4.2 IDENTIFICACION DE RIESGOS Y FACTORES AMBIENTALES

Con el objetivo de dar una presentación gráfica de las áreas restringidas para los tipos de proyecto en cuestión, se llevó a cabo la recolección de metadatos para la generación de mapas en un software, como parte del análisis de información de un Sistema de Información Geográfica, en este caso Quantum Gis (QGIS). Los metadatos referentes al Domo Térmico de Costa Rica, así como para las Áreas Ecológicas o Biológicamente Significativas (EBSA's), es decir, archivos tipo shape y tipo ArcGIS Package Info, fueron obtenidos directamente de la plataforma digital de la Fundación MarViva (Fundación MarViva, 2015).

Con el propósito de identificar los riesgos ambientales que se pueden presentar en el desarrollo de un proyecto de generación de energía marina, se realizó una revisión de literatura detallada de artículos científicos de revistas a nivel internacional. Sin embargo, la principal guía de investigación provino del segundo reporte del ANNEX IV (2016), una tarea a cargo de la OES que opera bajo el marco de la IEA. Dicho reporte es una colaboración entre instituciones de trece naciones (Canadá, China, Irlanda, Japón, Nigeria, Portugal, España, Suecia, Noruega, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Reino Unido,

y los Estados Unidos), y resume el estado de la ciencia de las interacciones y efectos de los dispositivos para la obtención de ERM sobre el medio marino, su fauna y los hábitats de los que ésta depende.

Es importante aclarar que el reporte del ANNEX IV se enfoca en riesgos ambientales relacionados a las fuentes de energía olamotriz y de corrientes marinas únicamente. La OES indica que es en estas dos fuentes en las que existen más estudios disponibles ya que son las que han llevado a cabo la mayor cantidad de proyectos piloto, además de que los dispositivos utilizados en ellas presentan similitudes con los requeridos en otras fuentes de energía, como lo es el clavado de pilotes y el ruido generado por turbinas o embarcaciones. Se utilizan las figuras de “agente estresor” como aquella característica o actividad del proyecto que puede modificar el estado natural del entorno, y “receptor” como aquellos elementos del ecosistema con potencial de algún tipo de respuesta a un agente estresor. Dicha denominación es adoptada por importantes referentes internacionales en temas de evaluación de impacto ambiental en EMR como lo son (Boehlert y Gill, 2010; Ingram *et al.*, 2011; Simas, 2016).

Para la identificación de factores ambientales, marino costero de Costa Rica, que pueden ser vulnerables ante el desarrollo de un proyecto de generación de energía marina, se tomó como guía el resultado obtenido de la investigación previa a nivel internacional, de manera que se realizó una revisión de literatura en las principales revistas científicas, libros, y bases de datos a nivel nacional enfocada en las seis interacciones identificadas, a saber:

- a. Colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos
- b. Riesgo para la fauna marina asociado al ruido submarino generados por los dispositivos
- c. Cambios en el medio físico por extracción de energía
- d. Efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos asociados a los cables de evacuación de electricidad
- e. Cambios en los hábitats provocados por los dispositivos (hábitats bénticos y formación de arrecifes artificiales)
- f. Riesgo de derrame de productos químicos.

4.2.1 Consulta a actores relacionados

El propósito de esta sección fue profundizar las vulnerabilidades ambientales del ecosistema marino de Costa Rica en la eventual presencia de un PrEM. De manera que se generaron hipótesis, tanto de riesgos como de beneficios, que fueron más precisas y que estuvieron directamente relacionadas a la interacción entre las actividades de un PrEM y los factores ambientales presentes.

Como instrumento de recolección de los datos se utilizó una metodología de entrevista, recomendada así por Sampieri, *et al.* (2014) como apta para investigaciones cualitativas como la presente, ya que el fenómeno de interés es difícil de medir o no se ha medido anteriormente.

Los especialistas entrevistados se presentan en el Apéndice 2. Información de partes interesadas.

Se utilizaron preguntas de opinión, de conocimientos, y de simulación definidas por Mertens (2010) como aplicables para entrevistas, las cuales se presentan en el Apéndice 3. Herramienta de consulta a las partes interesadas. El tipo de investigación cualitativa utilizado fue de Teoría Fundamentada (Sampieri *et al.*, 2014), de la cual se seleccionó su diseño sistemático inicialmente, y posteriormente un diseño emergente según la especialidad del entrevistado. De esta manera se recopiló información que explicó el proceso o fenómeno en cuestión.

4.3 PRIORIZACION DE FACTORES AMBIENTALES

Con el fin de aplicar un análisis crítico de la vulnerabilidad ambiental frente a un proyecto de EMR, se enlistaron las actividades típicas de un PrEM, que actúan como “agentes estresores” (características del proyecto que pueden cambiar el ambiente natural) frente a los factores ambientales que tomen el lugar de “agentes receptores” (elementos del ecosistema con algún potencial de respuesta al estresor) (Ingram *et al.*, 2011).

El Decreto N° 32966. (2006) “Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental” recomienda una metodología de valoración de impactos basada en una matriz, llamada Matriz de Leopold, que consta de interacciones acción-factor. Esta matriz se modificó y se adaptó para ser usada como guía para la construcción de una herramienta que fue denominada “Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales” (MVVA). En esta nueva herramienta se expuso cada actividad hipotética de un PrEM involucrada en el análisis previo de interacciones, ante los factores ambientales asociados.

Se analizaron las interacciones entre las actividades con todos los factores ambientales presentes en Costa Rica, con el fin de obtener aquellos factores que se vean afectados por más de una actividad de un PrEM y por ende requieran una mayor atención en su investigación o protección. Los factores ambientales por catalogar se eligieron siguiendo un criterio de mayoría, es decir aquellos factores que obtuvieron una calificación mayor a 5 en la MVVA.

4.4 ELABORACIÓN DE GUIA DE CRITERIOS AMBIENTALES

Para la elaboración de la guía de recomendaciones se tomó como base referencias y organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud ((WHO), 2016) e instituciones nacionales y particulares como (Chacón, *et al.*, 2007; Rodríguez, 2009; Tribunal Ambiental Administrativo, 2010). De manera que la estructura que se desarrolló fue la siguiente:

Título
Índice
Resumen
Aspectos generales
Tecnologías para la obtención de energía marina
Prospectiva de la variable ambiental en energía marina
Objetivos de la guía
Criterios Ambientales
Riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos
Riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos
Cambios en el medio físico por extracción de energía
Efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos
Alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes
Riesgo de derrame de productos químicos
Planificación Espacial Marina
Factores ambientales de atención prioritaria
Referencias

5 RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 IDENTIFICACION DE RIESGOS Y FACTORES AMBIENTALES

Según el reporte del ANNEX IV, mencionado en la sección metodología, para el 2016 algunas de las interacciones críticas entre los dispositivos de energía marina y la fauna que les rodea continúa preocupando a las partes reguladoras y a las partes interesadas. Dicha afectación depende en cada tecnología específica, de sus respectivos elementos estresores y receptores (Institute for Energy Systems, 2011). Sin embargo, el mayor reto en la administración de los océanos y costas es encontrar formas sencillas para evaluar las condiciones de un ecosistema tan complejo (Rombouts *et al.*, 2013).

Gran parte de los factores ambientales que debe analizar un eventual desarrollador de un proyecto de EMR en Costa Rica, le serán solicitados por el debido proceso de consentimiento ambiental a nivel nacional, el cual será dependiente de la ubicación de cada proyecto. Esto se amplía en la siguiente sección. Además, se presentan los resultados de la investigación realizada referente a las interacciones entre dispositivos de EMR y su entorno, catalogados por organismos internacionales como riesgos asociados directamente al desarrollo de energía marina, así como su posible relación con factores ambientales vulnerables en Costa Rica.

5.1.1 Regulación ambiental asociada a la generación de electricidad a partir de EMR

5.1.1.1 Internacional

A manera de contextualizar la regulación ambiental a nivel internacional en temas de energía marina, se exponen algunos casos de estudio que abarcan una gran parte de naciones europeas experimentadas en el sector. Una revisión de proyectos olamotrices en seis de estas naciones, realizada por Greaves *et al.*, (2016) detalla que, a pesar de que el proceso de consentimiento ambiental es independiente según el tipo de proyecto, enlista los siguientes estudios que fueron realizados para la Evaluación de Impactos Ambientales en los diferentes países (Irlanda, España, Suecia, Portugal, Francia y Reino Unido), los cuales se observan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Tipos de estudios requeridos para el consentimiento de proyectos olamotrices en Europa. Fuente: Adaptado de Greaves et al., (2016).

Receptor	Estudio	Cantidad
Físico	Batimetría	3
	Geomorfología	4
	Hidrodinámica	5
	Acústica/Ruido	3
Biológico	Bentos	6
	Peces y crustáceos	3
	Plancton	1
	Mamíferos marinos	4
	Aves marinas	3
Socio - económico	Paisaje	2
	Arqueología	2
	Navegación	1
	Pesca	3
	Economía	1
	Turismo	1

De manera que los estudios más comunes son aquellos que evalúan los ecosistemas bentónicos, siendo caracterizado en todos los seis sitios estudiados, seguido por aquellos de hidrodinámica y mamíferos marinos.

Según O'Hagan, Huertas, O'Callaghan, y Greaves, (2016) los procesos de consentimiento ambiental han presentado una duración de desde 9 meses en Escocia, hasta 4 años en España, esto a partir de que se cuenta con los estudios base de la Evaluación de Impacto Ambiental.

O'Hagan *et al.*, (2016) indican que, respecto a la experiencia obtenida en el apoyo social, se han obtenido buenos resultados en países como Dinamarca, Francia, Irlanda, Noruega, Portugal, España, Suecia y Reino Unido. Referente al sector público, como los concejos municipales, opinaron que el desarrollo de estos proyectos puede traer múltiples beneficios socio – económicos a las localidades, así como que se podrían fortalecer las inversiones en facilidades e infraestructura. Por su parte, el sector privado también mostró un rol de apoyo al reconocer el potencial de convertirse en un agente intrínseco de la cadena productiva de este sector en un futuro. Sin embargo, los estudios socio – económicos sólo suelen ser realizados en proyectos de mayor tamaño, no así en aquellos prototipos iniciales o proyectos a pequeña escala y en algunos casos por ser temporales no tendrían un nivel de incidencia relevante.

En relación con a la experiencia europea en la necesidad de un adecuado manejo del entorno marino, las Políticas Marinas Integradas de la Unión Europea han identificado la Planificación Espacial Marina como la principal herramienta para la certeza legal, transparencia, y por lo tanto reducción de costos en los proyectos de energía marina (Parlamento Europeo y Consejo, 2014). En el 2014 dicho

parlamento estableció un marco regulatorio para la ordenación del espacio marítimo europeo. Según éste, se estableció como requisitos mínimos aplicables a la ordenación del espacio marítimo, los siguientes:

1. Establecer etapas procedimentales para contribuir a los objetivos, teniendo en cuenta las actividades y usos pertinentes en las aguas marinas.

2. Para ello:

a) Tener en cuenta las interacciones entre tierra y mar;

b) Tener en cuenta tanto los aspectos medioambientales, económicos y sociales como los aspectos de seguridad;

c) Procurar promover la coherencia entre la ordenación del espacio marítimo y el plan o planes de ordenación resultantes y otros procesos como la gestión integrada de las costas o prácticas formales o informales equivalentes;

d) Recabar la participación de los grupos de interés

e) Organizar el uso de los mejores datos disponibles

f) Garantizar la cooperación transfronteriza

g) Promover la cooperación con terceros países

3. Revisión de los planes de ordenación marítima al menos cada diez años.

Este listado puede servir de guía para la hoja de ruta que se establezca a la hora de atacar los vacíos legislativos referentes a la Planificación Espacial Marina a nivel nacional.

El gobierno de Escocia y su directiva de asuntos marinos, conocida como Marine Scotland, se encuentra a la vanguardia de los procesos de consentimiento para energía marina (O'Hagan *et al.*, 2016). Marine Scotland desarrolló un Plan Sectorial Marino en aguas escocesas para proyectos eólico – marinos, olamotrices y de corrientes, el cual tuvo como resultado un mapa con la propuesta de sitios idóneos para cada tipo de proyecto. Este tipo de productos son de gran utilidad para guiar el manejo adecuado del territorio marino según su protección ecológica, productividad sostenible, por lo tanto, el tema se amplía en la sección “Planificación Espacial Marina (PEM)”.

5.1.1.2 Nacional

Según el Reglamento de Organización de la Estructura Interna de Funcionamiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) (2013), indica que esta secretaría es el órgano técnico encargado de la gestión del proceso de Evaluación de Impactos Ambientales en Costa Rica. Este reglamento establece que el Departamento de Evaluación Ambiental de la SETENA es el encargado de emitir un criterio técnico sobre las evaluaciones ambientales de las actividades, obras o proyectos sometidas a análisis de la SETENA, así como de establecer y aplicar los procedimientos metodológicos de evaluación ambiental y definir los términos de referencia del instrumento de evaluación de impacto ambiental que sean requeridos para actividades, obras o proyectos específicos. Según Wright (2015), las tecnologías de EMR presentan la desventaja de deficiencia de conocimiento en dos niveles: 1) existe limitada experiencia práctica en el despliegue de tecnologías, y 2) el ambiente marino es notoriamente difícil de estudiar. Es por estas razones las Evaluaciones de Impacto Ambiental en el ambiente marino se han llamado “las Evaluaciones de Impacto Ambiental más desafiantes”.

Adicionalmente, existen las evaluaciones ambientales estratégicas, las cuales son un mecanismo frecuentemente utilizado para identificar los efectos ambientales significativos de un plan o programa, así como sus alternativas. Dado que un análisis ambiental debería considerarse como un instrumento de planeamiento, lo deseable es que pudiera formar parte integral del desarrollo del proyecto desde el inicio. De esta manera, existen diversas técnicas de análisis ambientales (Evaluaciones Ambientales Estratégicas, Evaluación de Riesgos Ambientales, Evaluación de Ciclo de Vida) que pueden ser consultados y aplicados previo a la Evaluación de Impacto Ambiental, logrando así informar y apoyar el proceso de toma de decisiones desde la definición del diseño del dispositivo y la planeación de actividades en general (Venugopal *et al.*, 2011).

La legislación en Costa Rica se refiere al consentimiento ambiental para proyectos de generación y transmisión eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el Decreto N° 31849 “Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental”, (2013) especificando que para un proyecto de este tipo rigen: la Ley que Autoriza la Generación de Energía Eléctrica Autónoma o Paralela (N° 7200) y sus reformas (N° 7508), Artículos 8, 10, 11; el Reglamento a la Ley de Generación de Energía Eléctrica DE-24866, Artículo 13 inciso d; y el Reglamento a la Ley que Autoriza la Generación Eléctrica Autónoma o Paralela DE-20346, Artículos 2 y 14 inciso e. Sin embargo, en cuanto a proyectos de EMR no existe un reglamento en específico.

Específicamente en el Decreto N° 32966 (2006) “Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental”, su Anexo 1 presenta la Guía general para la elaboración de instrumentos de Evaluación de Impacto Ambiental, la cual es una orientación básica de referencia para el equipo consultor responsable de la elaboración del instrumento de Evaluación de Impacto Ambiental que se desee confeccionar. Dicho decreto explica que serán las características del espacio geográfico y del proyecto, obra o actividad que se pretende desarrollar las que determinen la aplicabilidad de los temas de la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Del mismo modo, respecto al tema de aguas recomienda para aquellos proyectos localizados en la zona costera, presentar los datos sobre la dinámica hídrica de la zona costera incluyendo eventos máximos, así como presentar un análisis de la susceptibilidad a la contaminación (con proyecto y sin proyecto), e indicar categoría de protección que asigna el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) al área del proyecto.

El Decreto N° 31849 “Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental” (2013) define categorías para la clasificación de proyectos, de acuerdo con la Clasificación CIU (Clasificación Internacional Industrial Uniforme) y su Impacto Ambiental Potencial, con el fin de conocer a priori el tipo de estudio que se requerirá. Para proyectos del sector energético aún no existe una clasificación para proyectos de energía marina, pero sí para subestaciones eléctricas, redes y líneas de distribución, así como para generación de electricidad a partir de fuentes eólicas.

Específicamente, los proyectos de generación de electricidad a partir de fuentes eólicas cuentan con una categorización de acuerdo con el impacto ambiental que podría generar, esto según la capacidad de generación eléctrica. Según Sun *et al.* (2012), el recurso eólico sobre cuerpos de agua es generalmente más fuerte, consistente y fluido que sobre tierra. Ya que los tres mayores parques eólicos a nivel nacional tienen una potencia de 50 MW cada uno, éstos son categorizados como proyectos de alto impacto ambiental potencial (categoría en la que entra todo proyecto de generación mayor a 2 000 KW). Por lo tanto, este tipo de proyectos requieren presentar un Estudio de Impacto Ambiental, el cual será elaborado en cumplimiento de los términos de referencia establecidos por la SETENA según el Decreto N° 31849 (2013) Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental. Si se toman en cuenta estos dos factores, es probable que un proyecto de generación de electricidad a partir de fuentes eólicas marinas deba seguir un procedimiento similar.

Asimismo, el Decreto No 29296 “Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica” (2001) establece los lineamientos bajo los cuales las empresas prestadoras del servicio público de transmisión de electricidad presentan limitaciones en cuanto a la densidad permitida de los campos eléctricos y magnéticos inducidos en la operación de las instalaciones de transmisión, tema que será de utilidad conocer en las secciones posteriores de la presente investigación.

5.1.2 Planificación Espacial Marina (PEM)

Es común que aún en países con mayor trayectoria en EMR la Planificación Espacial Marina presente un perfil político bajo, ya que la demanda por el espacio marino es también baja. Incluso, no todos estos países cuentan con una PEM formalizada, sino que se basan en aproximaciones equivalentes como planes regionales o planes de gestión costera; todos ellos aún se encuentran en un proceso de mejoramiento continuo de buenas prácticas (O’Hagan, 2016).

Costa Rica posee 589 683 km² de aguas jurisdiccionales, un espacio 10 veces mayor que su área terrestre. No obstante, en la actualidad solo se protege un 2,42 % del total de los espacios marinos (aproximadamente 14 281 km²), cifra insuficiente para lograr una efectiva conservación y adecuada gestión de los recursos marinos, costeros y oceánicos (Rodríguez, 2011). A pesar de la riqueza de ambientes marinos en el país, éste presenta un rezago en la conservación y manejo de la biodiversidad marina y costera, con respecto al esfuerzo realizado hacia la parte terrestre (Alvarado *et al.*, 2011).

En consideración, a continuación, se presenta una recopilación de las áreas marinas más relevantes identificadas por aportes de investigadores u organismos no gubernamentales, así como las establecidas por la legislación nacional, cuyo objetivo se basa en lograr una adecuada planificación espacial marina.

Domo Térmico de Costa Rica

El Domo Térmico de Costa Rica (en adelante El Domo) es una extensa región marina en el Pacífico Tropical Oriental frente a la costa occidental de Costa Rica y Nicaragua (Fiedler, 2002) en la que corrientes y vientos hacen que agua fría, proveniente de zonas profundas y con gran cantidad de nutrientes, se acerque a la superficie generando una alta productividad primaria, que mantiene una dinámica red alimentaria en el área circundante (Jiménez, 2016). Las organizaciones MarViva, Marine Conservation Institute (MCI), International Union for Conservation of Nature (IUCN), Whale and Dolphin Conservation (WDC), y Mission Blue, (2016) establecen cinco razones de peso para el reconocimiento, la protección y un mejor ordenamiento del Domo: 1) es un medio ambiente

productivo de gran valor ecológico; 2) es un área que proporciona bienes y beneficios tangibles, entre ellos su función como sumidero de CO₂, pesca de atún y calamar, y su valor como área de investigación tanto a nivel regional como a nivel mundial; 3) es un ambiente amenazado por el ruido y riesgo de colisión de cetáceos y tortugas marinas provocados por navegación comercial, así como los riesgos de captura incidental de tortugas baula, de otras tortugas marinas y de cetáceos; 4) presenta necesidad de ordenamiento debido a la gran variedad de actividades extractivas que se realizan en él; y 5) es de importancia mundial como hábitat crítico para la ballena azul, especie amenazada (incluyendo el corredor migratorio), así como el hábitat para la tortuga baula en peligro crítico (la cual migra a través del domo). Una representación geográfica de esta última característica se muestra en la Figura 5.1.

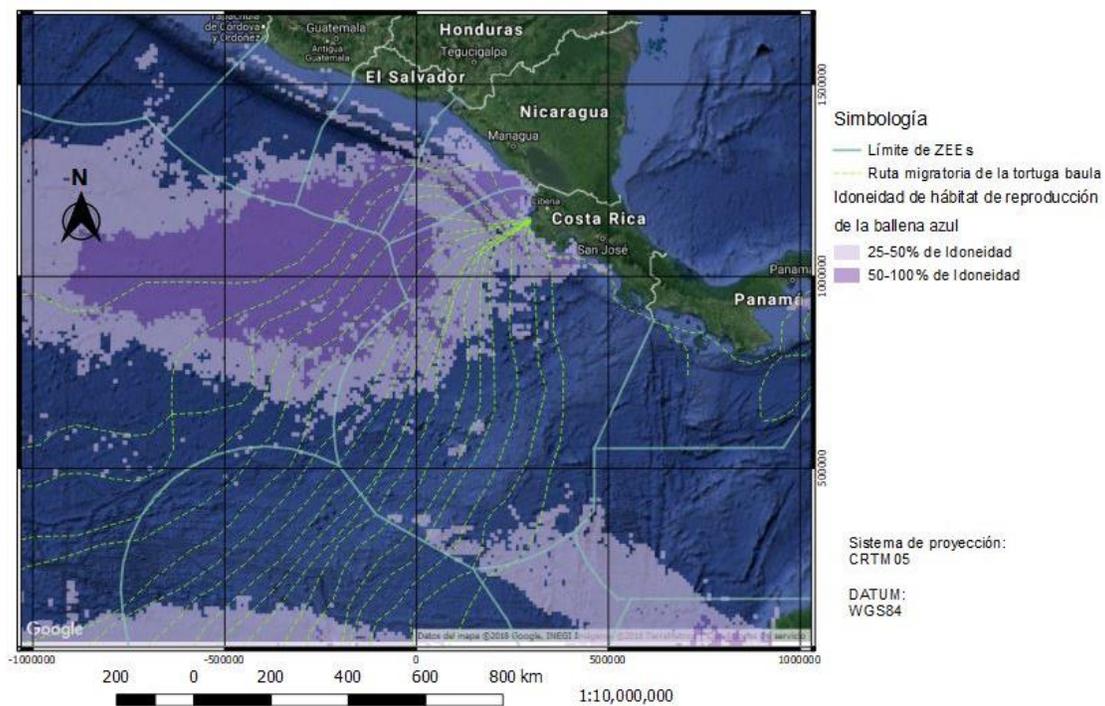


Figura 5.1. Mapa de rutas de migración de tortugas baula e idoneidad de hábitat de reproducción de la ballena azul, de importancia para la protección del Domo. Generado a partir de metadatos de Fundación MarViva, (2015).

El valor ecológico del Domo radica en que, debido a su alta productividad, su importancia para las especies migratorias y amenazadas, así como su singularidad en los océanos del mundo, se adoptó como una zona que cumple con los criterios del Convenio sobre la Diversidad Biológica para las Áreas Ecológica o Biológicamente Significativas (EBSA por sus siglas en inglés) (MarViva *et al.*, 2016). Los autores indican que el área de la EBSA fue adoptada por el Convenio sobre la Diversidad Tropical y Templado en el 2012, incluyéndole una mayor zona costera hacia Costa Rica y Nicaragua.

Debido a la naturaleza dinámica del Domo que se forma cerca de la costa en febrero-abril y posteriormente se desplaza lejos de la costa, la EBSA se considera que incluye el área central del Domo y el área de impacto biológico (como lo demuestra el importante hábitat de la ballena azul y de las tortugas baula). La EBSA incorpora en altamar las aguas oceánicas y se extiende para abarcar la región de afloramiento costero de Papagayo, zona en la cual se da la influencia del Afloramiento de Papagayo (MarViva *et al.*, 2016), como se muestra en la Figura 5.2. La persistencia de la termoclina que se observa en dicha figura está caracterizada por una temperatura de 20 °C y a 35 m de profundidad (Fundación MarViva, 2015).

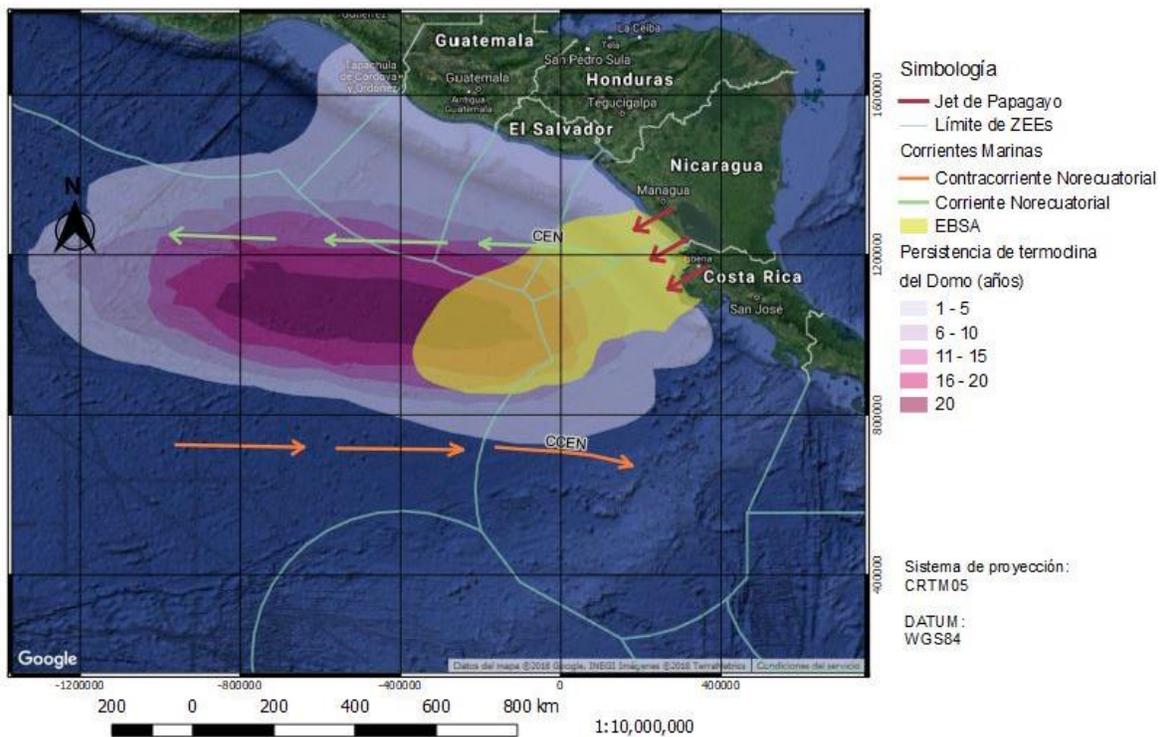


Figura 5.2. Mapa de la ubicación de la termoclina del Domo y la EBSA. Fuente: Generado a partir de metadatos de Fundación MarViva, (2015).

La dinámica del afloramiento de Papagayo y la formación del Domo de Costa Rica ocurre debido a la influencia de los vientos Alisios provenientes del Caribe y forzado hacia el Pacífico por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La ZCIT es una zona de baja presión donde chocan los vientos del hemisferio sur con los del norte (Méndez, 2003), la cual intensifica el vórtice natural que genera la interacción de las principales corrientes marinas presentes: Corriente Ecuatorial Norte (CEN) hacia el oeste, Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) hacia el noroeste, y la Contra Corriente Ecuatorial Norte (CCEN) hacia el este (Jiménez, 2016). Según el autor, este vórtice y la fricción de los vientos asociados a la ZCIT generan una surgencia permanente

desde aguas profundas, elevando un inmenso caudal frío rico en nutrientes, que forma el Domo. Además, estos remolinos no sólo energía transportan, sino también larvas, peces y otros organismos desde las áreas costeras hasta alta mar, generando una conexión directa entre los ecosistemas de ambas zonas geográficas. El mismo autor señala que el afloramiento de Papagayo genera una surgencia de agua en su flanco sur, al empujar las capas de aguas superficiales que son remplazadas por aguas más profundas, este efecto también crea grandes ondas que afectan la masa oceánica hacia el oeste y desplazan las partes superiores del Domo hacia el norte.

Según Lizano (2016), la variación climática mensual de estas variables se desarrolla sobre los 200 m de profundidad desde la superficie y encuentra mayor variabilidad climática en los perfiles en la columna de agua en las estaciones al norte y al este del Domo. El autor indica que tanto las estaciones al norte del Domo, como las más cerca de la costa, son las que tienen mayor influencia de los vientos al frente del Golfo de Papagayo y donde se produce mayor variación mensual en los afloramientos en esta región.

Según Jiménez (2016), en el área del Domo, una de las principales amenazas que se encuentran es el tráfico marítimo en la región, el cual se observa representado en la Figura 5.3. El autor señala que durante el 2013 en la zona transitaron cerca de 14.000 barcos de alto calado, transportando 5% de la carga marítima mundial utilizando el Canal de Panamá, y que un porcentaje significativo de estas rutas atraviesan la región del Domo, con perspectiva de intensificarse ante la ampliación del Canal, el aumento en el tráfico marítimo global (que ha aumentado un 300% en los últimos veinte años), y otros proyectos eventuales como la creación del canal marítimo de Nicaragua (Meyer y Huete, 2014).

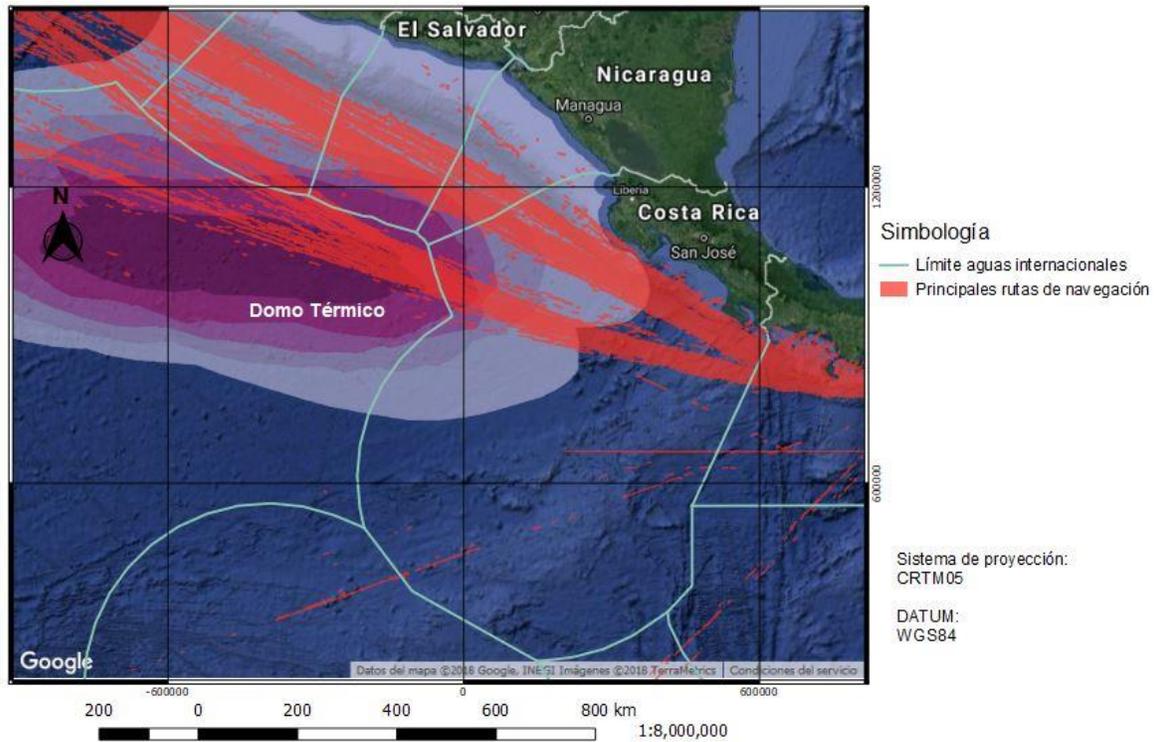


Figura 5.3. Tráfico marítimo comercial del Domo. Fuente: Generado a partir de metadatos de Fundación MarViva, (2015).

Jiménez (2016) denota que existe un alto y creciente riesgo de choques entre barcos y organismos marinos tales como tortugas y cetáceos, de las cuales resultan golpes, heridas, amputaciones y colisiones letales, como se observa en la Figura 5.4. El riesgo de colisionar con un dispositivo de EMR se profundiza en la siguiente sección, sin embargo, según esta referencia, en la zona del Domo la estadística refleja que el riesgo de colisiones es real, pues las ballenas azules y los delfines tienden a agregarse en cantidades importantes para alimentarse, reproducirse y parir, de igual manera los ballenatos son especialmente vulnerables ya que pasan más tiempo en la superficie respirando y son más lentos, así como las tortugas marinas que para respirar pasan la mayor parte del tiempo en la superficie.



Figura 5.4. Efectos de la colisión de una ballena con las propelas de un barco. Fuente: Jiménez, (2016).

Áreas Ambientalmente Frágiles (AAF) y Áreas de Pesca

El Decreto N° 31849. (2013) “Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental” establece como AAF, áreas que por su naturaleza se dividen en dos grupos: 1) áreas para las cuales el Estado ha definido un régimen especial de uso (marco jurídico y técnico definido), y 2) espacios geográficos que muestran limitantes técnicas y ambientales para su uso. Los siguientes tipos de Espacios Geográficos son considerados AAF en el decreto mencionado: Parques Nacionales, Refugios Nacionales de Vida Silvestre, Humedales, Reservas Biológicas, Reservas Forestales, Zonas Protectoras, Monumentos Naturales, cuerpos y cursos de agua naturales superficiales permanentes (espejo de agua), áreas de protección de cursos de agua, cuerpos de agua naturales y nacientes o manantiales, de acuerdo a la Ley Forestal, Zona marítimo-terrestre (ZMT), áreas con cobertura boscosa natural, áreas de recarga acuífera definidas por las autoridades correspondientes, áreas donde existen recursos arqueológicos, arquitectónicos, científicos o culturales considerados patrimonio por el Estado de forma oficial, y áreas consideradas de alta a muy alta susceptibilidad a las amenazas naturales por parte de Comisión Nacional de Emergencias.

Por otra parte, las Áreas de Pesca son aquellos espacios que se delimitan, planifican y gestionan con el fin de garantizar una actividad pesquera sustentable (Salas, Ross Salazar, y Arias, 2012). Según los autores, si bien ciertas categorías de manejo pueden ser utilizadas para manejar pesquerías, este no suele ser el objetivo principal de un Área Marina Protegida (AMP), y aunque las Áreas de Pesca tienen como objetivo principal la producción pesquera, en ellas se pueden proteger especies, hábitats de cría y ecosistemas que son importantes para las pesquerías. El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) ha creado las siguientes Áreas Marinas de Pesca Responsable (AMPR): Puerto Nispero, Palito en Isla de Chira, Isla Caballo, Tárcoles, Isla de Venado, Golfo Dulce, Paquera-Tambor, y Costa de Pájaros (Procuraduría General de la República, 2018).

Las AMPR se basan en procesos participativos de ordenamiento de los espacios marinos, que buscan mejorar la gobernanza local sobre los recursos marinos de los cuales dependen las comunidades pesqueras, además este modelo integral considera a los diferentes actores involucrados en busca de soluciones a los conflictos existentes por el acceso a los recursos del mar, y promueve normas voluntarias de pesca responsable (Salas, Ross Salazar, y Arias, 2012).

Las AAF no continentales, así como las Áreas de Pesca Responsable de Costa Rica se observan en la Figura 5.5.



Figura 5.5. Mapa de la ubicación de las Áreas Marinas Protegidas de Costa Rica. Fuente: MarViva, (2014).

Sin embargo, Alvarado *et al.*, (2011) presentan una serie de vacíos en la representatividad de la biodiversidad marina y costera en el sistema de áreas protegidas de Costa Rica y que deben ser conservados para asegurar una adecuada representatividad de los sistemas ecológicos, de las poblaciones de especies asociadas, su funcionalidad ecológica, así como la provisión continua de bienes y servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas que de ellos dependen. Incluye también el área que representa la ubicación promedio que posee El Domo. La ubicación de dichos vacíos se observa en la Figura 5.6, y su detalle se presenta en la Tabla 5.2.

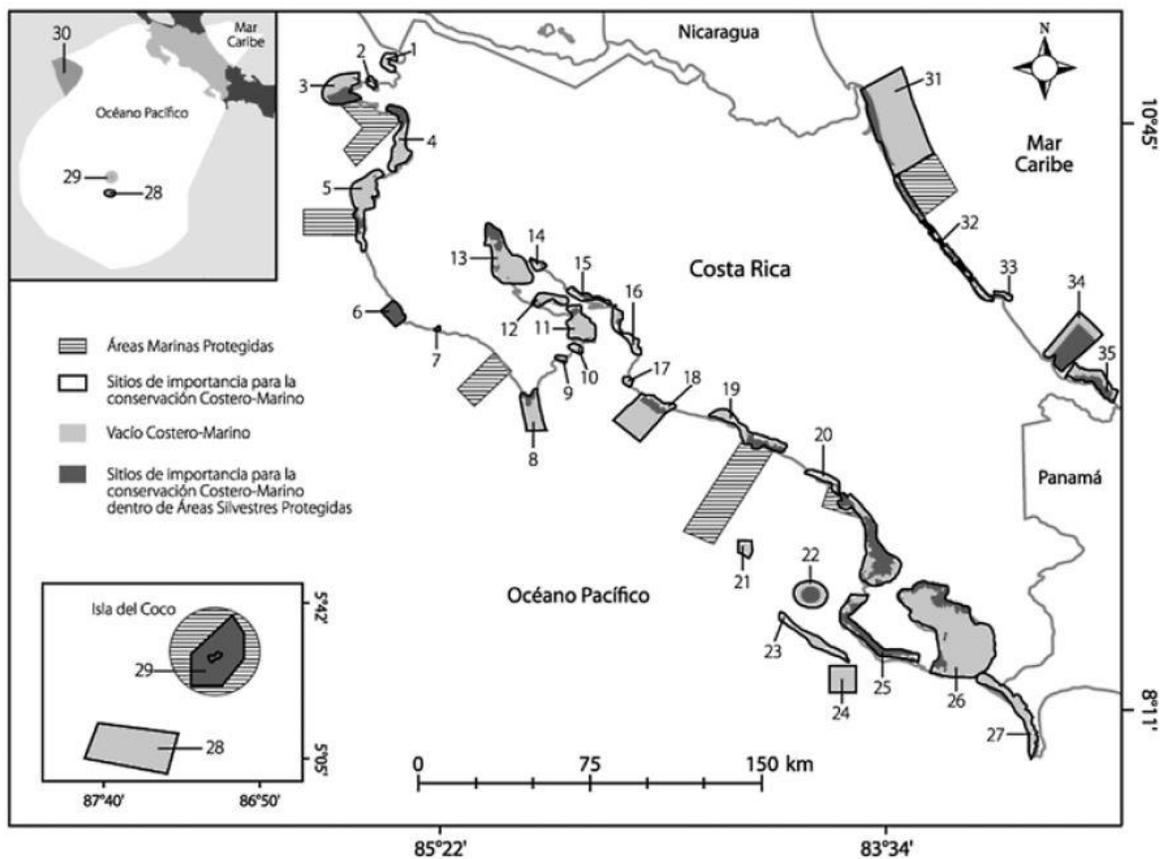


Figura 5.6. Sitios propuestos por Alvarado *et al.*, (2011) para la conservación de la biodiversidad marina.

Tabla 5.2. Detalle de los sitios propuestos por Alvarado et al., (2011) para la conservación de la biodiversidad marina.

No.	Sitio	No.	Sitio	No.	Sitio	No.	Sitio
1	Descartes	10	Curú - Islas Tortugas	19	Damas - Savegre	28	Montañas submarinas de Coco
2	Bahía Santa Elena	11	Negritos - San Lucas	20	Dominical - Sierpe	29	Isla del Coco
3	Punta Santa Elena	12	Caballo - Venado	21	Plataforma de Coronado	30	Domo térmico
4	Golfo de Papagayo	13	Chira - Tempisque	22	Isla del Caño	31	Barra del Colorado
5	Punta Gorda - Punta Pargos	14	Estero Culebra	23	Plataforma de Osa	32	Canales de Tortuguero
6	Ostional	15	Aranjuez	24	Corcovado	33	Isla Uvita
7	Punta El Indio	16	Caldera - Tárcoles	25	Montañas submarinas de Osa	34	Cahuita
8	Cabo Blanco	17	Herradura	26	Golfo Dulce	35	Gandoca
9	Punta Tambor	18	Punta Judas	27	Punta Burica		

La propuesta de conservación que se menciona cubre un área que alcanza 21 071 km²; de los cuales 1 995 km² (9.5%) están dentro de las Áreas Silvestres Protegidas actuales del país y 19 076 km² (90.5%) por fuera, y constituyen lo que se define como el vacío de conservación (Alvarado *et al.*, 2011).

Reservas Marinas y Áreas Marinas de Manejo

Según Rodríguez (2011) las Reservas Marinas y las Áreas Marinas de Manejo son claves para la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, costeros y oceánicos. Estas categorías se encuentran definidas en el Decreto N° 35369 (2012) “Regulación de las nuevas categorías de manejo para las Áreas Marinas Protegidas, conforme al Reglamento a la Ley de Biodiversidad”. Este decreto define a las Reservas Marinas como “zonas para garantizar el mantenimiento, la integridad y viabilidad de sus ecosistemas naturales, beneficiando a las comunidades humanas, mediante un uso sostenible de sus recursos”, sin embargo, a la fecha no existe ninguna reserva bajo esta categoría. Por otra parte, el mismo decreto define que un Área marina de manejo “busca garantizar la protección y el mantenimiento de la biodiversidad marina a largo plazo, y que generan un flujo sostenible de productos naturales y servicios ambientales a las comunidades”.

Según el decreto mencionado, en las Reservas Marinas estaría prohibido, entre otras cosas, la instalación de marinas, puertos, atracaderos, y cualquier otro tipo de infraestructura; sin embargo, en las Áreas Marinas de Manejo sí está permitida la construcción de las estructuras mencionadas. Bajo este último concepto existe el Área Marina de Manejo Montes Submarinos (AM MMS), establecida

en el Decreto N° 36452-MINAET (2011) “Creación del Área Marina de Manejo Montes Submarinos” el cual circunda el Parque Nacional Isla del Coco. Este decreto establece que el AM MMS tiene como objetivos conservar los ecosistemas de los montes submarinos, proteger formaciones coralinas profundas, conservar sitios de agregación (descanso, reproducción, limpieza, alimentación) de especies como peces pelágicos, cetáceos, tortugas marinas, rayas, tiburones, atunes, así como regular el aprovechamiento de los recursos marinos, pues se permite la pesca según los términos señalados. Dicha área se observa en la Figura 5.5 bajo la identificación número 20. Además, recientemente la Presidencia de la República (2018) aprobó la creación del Área Marina de Manejo Santa Elena.

Áreas Marinas de Uso Múltiple

Las Áreas Marinas de Uso Múltiple (AMUM), que según el Decreto N° 24483-MP-MAG-MIRENEM (1995) “Establecimiento de AMUM Pacífico Norte y Sur, Golfo Nicoya, Caribe Norte y Sur e Isla del Coco”, ubicados según se muestra en la Figura 5.7, tiene como objetivo procurar el manejo apropiado a los sistemas marino - costeros, con el fin de recuperar aquellos alterados por accidentes antropogénicas y otros que por condiciones naturales presentan baja productividad de modo que se aumente la productividad secundaria, la biodiversidad marina general, la posibilidad de mantener la calidad ambiental de estos sistemas; así como aquellos estipulados en la Ley N° 6084, Ley de Creación del Servicio de Parques Nacionales y Ley N° 7317, Ley de Conservación de la Vida Silvestre. Bajo esos objetivos, con las AMUM se mantendría e incrementaría la biomasa marina, favoreciendo su exportación hacia zonas vecinas, para lo que se llevarían a cabo labores de monitoreo.



Figura 5.7. Mapa de Áreas Marinas de Uso Múltiple. Fuente: Fundación MarViva, (2017).

En las AMUM confluyen una serie de instituciones competentes que deben velar por la conservación de los recursos marino-costeros presentes y las cuales se rigen a través de dos instrumentos de gestión básicos para regular las actividades dentro de las AMUM: un Plan Director aplicable a la totalidad de la AMUM, y un Plan General de Manejo aplicable dentro de las áreas silvestres protegidas. Estos deberán ser consultados para el caso específico de la zona (Cajiao *et al.*, 2010).

Con base en el reglamento de la Ley de Zona Marítimo Terrestre, Decreto Ejecutivo N° 7841 (2013), los planes reguladores que comprendan la zona marítimo terrestre deberán observar los lineamientos y recomendaciones del Plan General de Uso de la tierra que elabore el Instituto Costarricense de Turismo (ICT). Según Cajiao *et al.* (2010), dentro de las categorías de manejo de relevancia están: Parques Nacionales, Reservas Biológicas, Refugios Nacionales de Vida Silvestre, Humedales, Reservas Marinas y Áreas Marinas de Manejo. Los usos de dichas áreas para servicios, recreación, u otros, se pueden observar en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Actividades permitidas (✓) y prohibidas (✗) según la categoría de manejo. Fuente: Adaptado de Cajiao *et al.*, (2010).

Servicios, recreación y otros usos	Uso en el área marina protegida					
	Parque Nacional	Reserva Biológica	Humedal	Refugio de vida Silvestre	Reserva Marina	Área Marina de Manejo
Investigación	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Turismo y recreación	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Equipo motorizado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Capacitación	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Concesión de servicios no esenciales	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Marinas	✗	✗	✗	✗	✓	✓

Adicionalmente, las AMUM fueron creadas como un modelo de gestión y gobernanza del espacio marino en el que coexisten diferentes actividades de aprovechamiento y conservación de una forma organizada (Cajiao *et al.*, 2010). Dichas autoras señalan que dentro de las AMUM hay áreas marinas protegidas, áreas de pesca y otras zonas que no pertenecen a ninguna de estas categorías, conocidas como zonas de influencia. Las mismas autoras aclaran que las AMUM son un modelo de gestión y gobernanza del espacio marino en el que pueden coexistir diferentes actividades, tanto de aprovechamiento como de conservación; por lo que no deben confundirse con áreas protegidas o categorías de manejo.

Cabe destacar que la ZMT presenta, según la Ley de la Zona Marítimo Terrestre, No. 6043 (2014) en el artículo 18, casos excepcionales en los que se puede construir en dicha zona, como lo son la construcción de plantas industriales, obras portuarias, u otros establecimientos o instalaciones similares, para cuyo funcionamiento sea indispensable su ubicación en las cercanías del mar, se podrá autorizar el uso de las áreas de la ZMT, siempre que se cuente con la aprobación expresa de la municipalidad respectiva, del Instituto Costarricense de Turismo, del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo y demás instituciones del Estado encargadas de autorizar su funcionamiento, así como del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Esta ley establece que, en el caso de construcción, instalación y operación de astilleros y diques secos o flotantes, se podrá autorizar el uso de las áreas de la zona marítimo terrestre que fueren necesarias para su funcionamiento, previa aprobación expresa

de la municipalidad respectiva. Sin embargo, la ley indica que cuando su vigencia exceda de quince años o sus prórrogas sumadas al plazo original sobrepasen ese plazo, se requerirá autorización legislativa.

Costa Rica ha asumido compromisos internacionales de conservación de sus ecosistemas y recursos marinos; por ello resulta urgente que el país incremente sus esfuerzos de conservación y mejore la coordinación interinstitucional, a fin de mitigar las amenazas antropogénicas identificadas, tanto de origen marino como continental, que afectan la conservación de los recursos marinos del país (SINAC, 2008). Según esta institución, entre las principales amenazas se destacan la contaminación, el desarrollo no planificado de infraestructura costera, la navegación no regulada y la extracción ilegal, no reportada y/o no regulada de recursos marinos. Esta última amenaza se ve reflejada en la ilegalidad de cerca de un 50% del total de recurso pescado en Costa Rica (Blanco, 2016; Gutierrez, 2016).

La Fundación MarViva (2013) establece que la gestión de las actividades humanas en el espacio marino es un esfuerzo que requiere de políticas, procesos participativos y marcos regulatorios e institucionales, sin los cuales el éxito no puede ser alcanzado. Sumado a que, en las discusiones sobre el proceso, se debe involucrar directamente a los usuarios que dependen de los recursos naturales del mar, las organizaciones ambientalistas, el sector pesquero privado, las cámaras de turismo, las organizaciones de base, las universidades, los organismos internacionales, las instituciones gubernamentales y todos aquellos actores involucrados que tienen intereses en los recursos marinos, tanto en el corto como en el largo plazo.

La misma Fundación señala que han ocurrido intentos parciales para el desarrollo de tales políticas dentro de algunos sectores; sin embargo, no han alcanzado los niveles multisectoriales necesarios ni han obtenido el decidido respaldo del sector político. Además, enfatiza que el ordenamiento espacial marino no reemplaza la planificación ni los procesos de implementación sectoriales, los planes de regulación de pesca y las regulaciones que existen sobre las áreas marinas protegidas, entre otras, y que siempre deben ser preparadas por los sectores encargados de estos temas (MarViva, 2013).

A nivel internacional, investigadores como Yates, *et al.*, (2015) han desarrollado aproximaciones para evaluar negociaciones entre las industrias, investigando los impactos del uso compartido de algunas actividades pesqueras dentro de sitios de obtención de EMR. La incorporación de dicha propuesta resultó en reducciones significativas de costos económicos para la industria pesquera, incluso para aquellas que no estaban incluidas en la zona de uso compartido. Esta propuesta alteró además la

selección de sitios óptimos para ubicación de dispositivos de obtención de EMR, aportando soluciones de planificación en la zona. Según Runyon, (2018) estas proyecciones han disminuido la preocupación de los gremios pesqueros y aumentando su aceptación, registrando casos en los que la presencia de proyecto de EMR ha llevado incluso a migración de negocios pesqueros hacia el turismo.

La información aquí recolectada denota los esfuerzos que se han realizado a nivel nacional para el establecimiento de áreas protegidas con intereses específicos. Sin embargo, el estado de la ciencia expone importantes vacíos de conservación y ordenamiento en el entorno, que, por su naturaleza, es sujeto de una rápida industrialización. La sub – representación de las áreas protegidas se ve amenazada por tecnologías e industrias emergentes como la EMR, por lo tanto, queda en evidencia que se deben redoblar los esfuerzos para lograr el adecuado desarrollo sostenible del país.

5.1.3 Riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos

Uno de los riesgos ambientales que han sido identificados son las colisiones causadas por dispositivos estáticos y dinámicos. Tal como lo indica Hanna y Copping, (2016), un dispositivo estático es cualquier componente de tecnología de energía marina que no se mueve, incluyendo las bases, líneas de anclaje, cables de poder, anclas, y demás componentes sin movilización; mientras que un dispositivo dinámico se refiere a cualquier tipo de tecnología o componente de una tecnología de energía marina que oscila, rota, o se moviliza de manera significativa. Esto incluye, pero no se limita a, aspas rotativas de turbinas y los diseños existentes de WECs diseñados para oscilar, atenuar, y moverse al paso del agua. Las autoras señalan que la posibilidad de colisión a la que se exponen los animales marinos es el mayor reto que deben enfrentar estos proyectos y en cuanto a obtención de autorizaciones de emplazamiento y tramitación de permisos. Zydlewski *et al.* (2016) mencionan que los animales pueden verse atraídos por los dispositivos como opciones de alimentación, refugio, curiosidad, o porque no son lo suficientemente fuertes para esquivar las corrientes de marea que podrían succionarlos a una turbina.

Estudios referentes indican que a pesar de que es poco probable que las colisiones de animales con dispositivos dinámicos resulten en heridas o muertes, y que aquellos que resulten heridos presentan altas probabilidades de recuperarse; prevalece incertidumbre específicamente en la interacción con turbinas de corrientes, ya que estas podrían trabajar a velocidades mayores de 8 m/s (Zydlewski *et al.*, 2016). Adicionalmente, Hammar *et al.* (2015) realizaron pruebas en las que concluyeron que, mientras la presencia de peces fue rara cuando las corrientes eran mayores a 1 m/s; los peces de mayor tamaño que se mantienen en la columna de agua a altos flujos, tendrán mayor dificultad en esquivar

una turbina (Hammar *et al.*, 2015). En el caso particular de Costa Rica, Brito e Melo (2013) señala que la energía de corrientes de marea es muy baja, presentando valores menores a 1 m/s, situación que se da de manera similar para la energía de corrientes marinas, en la que las velocidades máximas se encuentran bajo 0,6 m/s. Lizano (s/f) señala que solamente en casos aislados se han presentado reportes de mega-corrientes de resaca de 2 m/s.

Con base en los tamaños, así como los hábitos de ciertas especies de peces dentro de arrecifes, y en general su atracción a objetos extraños en su entorno, éstos se podrían considerar en riesgo de colisión con turbinas mareomotrices. (Romero-Gómez y Richmond, 2014; Amaral *et al.*, 2015; Hammar *et al.*, 2015). Por ejemplo, Romero-Gómez y Richmond, (2014) han realizado modelaciones de dinámica de fluidos a través de turbinas hidro cinéticas como la establecida en el PrEM de corrientes, junto a rastreos de partículas adaptadas a las características de peces como salmónidos, resultando colisiones en un promedio de 13% del tamaño de la muestra. Zydlewski *et al.* (2016) enfatizan en que el riesgo de colisión se magnifica cuando una población se encuentra bajo otros tipos de estrés como lo es la actividad antropogénica, de manera que la pérdida de unos pocos miembros puede afectar la supervivencia de la población. Se presenta una relación relevante entre el estudio previamente mencionado y la situación de algunas especies nacionales, ya que la Fundación MarViva (2015) clasifica el salmonete como una de las especies comercializadas con su población en estado de amenaza medio (en una escala tripartita), principalmente de acuerdo sus características de resiliencia.

Varias investigaciones muestran que según resultados de modelaciones numéricas, el fracaso en esquivar una turbina aumenta a medida que el nivel de luz disminuye (Hammar *et al.*, 2015, Viehman y Zydlewski, 2015). Ambas referencias señalan que el comportamiento natural de los peces incluye un ajuste de la sensibilidad ocular como respuesta a los cambios de iluminación, y que por lo tanto es difícil utilizar el nivel de iluminación para predecir la detección de objetos por parte de los peces, aunque mencionan que las evidencias científicas sugieren que en condiciones oscuras (cerca de 0,1 lx) los peces reaccionan a acercamientos de objetos hasta el momento en el que entran en contacto con él, o hasta que su sistema de línea lateral los detecte a una distancia muy corta por un cambio en las vibraciones. De modo que según Viehman y Zydlewski (2015), la probabilidad de ingreso a una turbina aumenta en horas de la noche, siendo más vulnerables los peces de menor tamaño (< 10 cm), a pesar de que estos últimos al presentarse en bancos, reaccionan a mayores distancias si se comparan con los individuales.

Teniendo en cuenta que la pérdida de pocos individuos puede afectar la supervivencia de la población, se torna de especial interés observar en la Figura 5.1 presentada en el capítulo anterior, que sobre la

costa de Guanacaste ocurre la mayor anidación de tortugas, (en este caso mostrada la Tortuga Baula). Por lo tanto sus rutas migratorias coinciden con las áreas dedicadas a la pesca, según Arauz, *et al.*, (2014) pronunciada principalmente entre setiembre y octubre. Los autores mencionan que esta zona ha sido propuesta por el Programa de Restauración de Tortugas Marinas (PRETOMA) como una zona de veda, acción que busca proteger también a las tortugas lora que anidan de manera sincronizada y masiva en acontecimientos conocidos como "arribadas" en playas Ostional y Nancite y a las tortugas verde y baula que anidan en la zona durante sus movimientos post migratorios e inter-anidación. La costa guanacasteca también es sitio de arribada de la tortuga negra (Francia, 2004), Carey (Quirós, 2017), y golfina (Menéndez, 2015).

En cuanto a turbinas eólico marinas, tal como lo reporta NREL (2010), en Dinamarca se han realizado estudios mediante radares que muestran que las aves migratorias evitan ampliamente volar a través del OWF llamado Nysted, como se observa en la Figura 5.8. Este estudio reveló que mientras un 35% de las aves atravesaban el área antes de la construcción del parque, sólo un 9% lo hizo posterior a su construcción. Adicionalmente, según el mismo ente, durante el monitoreo ambiental realizado en el OWF Horns Rev I, ubicado también en Dinamarca, se encontró que durante el primer año de operación la mayoría de las especies de aves presentaron la misma conducta al evitar la zona. El estudio señala que dicho comportamiento reduciría la probabilidad de colisiones con turbinas eólicas, sin embargo, al evitar dichas zonas se pueden presentar otros riesgos como pérdidas de hábitat y mayor consumo energético por las especies debido a la obligación de realizar recorridos más largos.

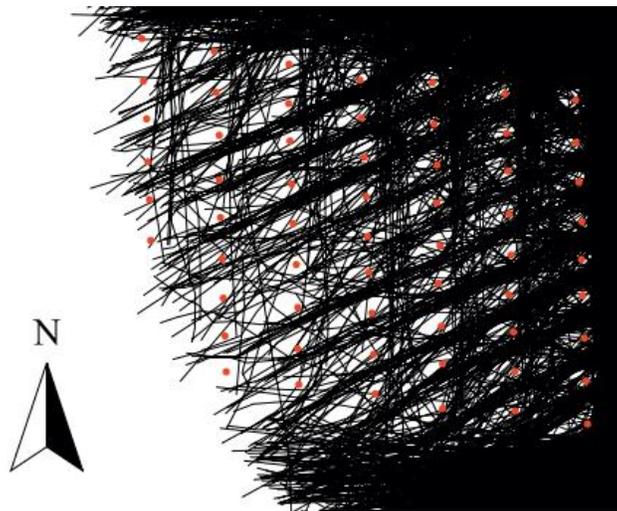


Figura 5.8. Trayectoria de vuelos hacia el oeste, trazados por radar en el OWF Nysted durante la operación inicial de las turbinas. Las líneas negras representan las bandadas de aves migratorias, y los puntos rojos indican las turbinas eólicas, separadas a una distancia de 560 m. Fuente: DONG Energy, (2006).

Para la selección de un sitio óptimo para un PrEM eólico, se debe considerar que hay aves que migran tan solo unos cientos de metros mientras otras recorren todo el planeta; las rutas son tan variadas como las especies de aves que emprenden estos sorprendentes viajes y sus patrones no son fáciles de definir (Fundación CIENTEC, 2000). En Costa Rica el número alcanza cifras mayores a 200 especies migratorias anualmente, la mayoría proveniente de zonas lejanas como Nueva Zelanda, la costa antártica o Siberia (Stiles y Frank, 2007). Sólo en la Isla del Coco la avifauna marina está compuesta de 32 especies, ocho de las cuales son residentes reproductivas y 25 son visitantes; de estas últimas, ocho son migratorias neárticas (provenientes de Groenlandia, Canadá, Estados Unidos y norte de México), 11 circumtropicales y 13 de ámbito geográfico correspondiente al Pacífico Oriental (Montoya, 2008). Solamente en la Península de Nicoya, Villarreal (2004) registró 13 especies de aves playeras migratorias, lo que representa el 40% de la diversidad de estas aves que anidan en Norteamérica y que viajan hasta Suramérica.

Por su parte, las aves nocturnas que son atraídas por la iluminación de las plataformas petroleras normalmente rodean dicha plataforma por minutos e incluso horas, especialmente durante noches nubladas. Se han realizado estudios en los que se hipotetiza que algunas aves se rehúsan a alejarse de la zona iluminada, especialmente cuando carecen de guías visuales para su orientación, como la luna y las estrellas (NREL, 2010). La misma institución señala que este comportamiento nocturno coloca a las aves en mayores riesgos de colisiones con la plataforma. Internacionalmente se ha observado que las colisiones de aves en plataformas petroleras son mayores en la época de otoño, en la que las aves migratorias atraviesan la zona en horas de la noche. Una sola plataforma ubicada en el Golfo de México causa aproximadamente 50 muertes anuales de aves debido a colisiones (Russell, 2005).

Los murciélagos también podrían verse afectados por OWF en cuanto a colisiones y desperdicios de energía. Según NREL (2010) es bien conocido que estos mamíferos migran entre masas de tierra, sin embargo, no se tiene claro la manera en la que lo hacen. NREL menciona que en algunas costas de Escandinavia se observó un comportamiento de caza de insectos por parte de los murciélagos en zonas cercanas a las turbinas, por lo cual no evitaron la turbina como tal e incluso descansaron sobre ella, y que este comportamiento no se vio influenciado por el movimiento de las turbinas. Sin embargo, la caza de insectos se observó más frecuentemente durante condiciones climáticas calmadas. En Costa Rica, según Rodríguez *et al.* (2002), once especies de murciélagos presentan una condición de alto riesgo de desaparecer de Costa Rica, por lo que la profundización en investigación de este comportamiento es clave para la comprensión del riesgo en cuestión.

Finalmente, Zydlewski *et al.*, (2016) enfatizan en que las modelaciones numéricas para predecir este riesgo deben incluir no solamente la población de las especies en estudio, sino también la habilidad del animal de cambiar de dirección para detectar y evitar dichas estructuras; siendo éste el motivo por el cual la mayoría de estudios sobreestiman las probabilidades de colisión, de manera que la inclusión de este factor será de vital importancia para comprender mejor el problema.

La información presentada en este capítulo permite aproximar que el riesgo por colisiones de organismos marinos con los dispositivos es mayor en aves que en organismos pelágicos. Sin embargo, para cuantificar las interacciones en cuestión se requieren mayores esfuerzos en la definición de rutas de especies migratorias con mayor resolución, apoyado de modelaciones numéricas que permitan agilizar el proceso.

5.1.4 Riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos

El sonido generado por los dispositivos de obtención de EMR es considerado un impacto ambiental que puede ser generado por el tráfico de embarcaciones y es especialmente nocivo durante las etapas de construcción, instalación, operación y cierre requeridas (Dubusschere *et al.*, 2014). Los ruidos más altos y los niveles disruptivos están asociados con la perforación y clavado de pilotes (Copping y Hanna, 2016). De acuerdo con Copping y Hanna (2016), el ruido operacional de estos dispositivos, a pesar de no ser continuo, es factible que esté presente durante la totalidad de vida del proyecto, de modo que se convierte en una preocupación para un amplio número de entes reguladores y partes involucradas.

Algunas de las inquietudes incluyen que los animales marinos utilizan el sonido como mecanismo de comunicación, navegación y cacería en el ambiente. La mayor preocupación es el potencial de enmascarar los sonidos de ecolocación emitidos por mamíferos, lo cual es vital para su comunicación, navegación y alimentación (Ellison, *et al.*, 2012; Kastelein, *et al.*, 2013). Adicionalmente, algunos datos experimentales en los que se expuso a ciertas especies de peces a sonidos de turbinas por tiempos prolongados, dañaron sus tejidos (Halvorsen, *et al.*, 2012). Los efectos adversos causados por ruido incluyen estrés psicológico como aumento en niveles de cortisol, impedimento auditivo y cambios de comportamiento (NREL, 2010). Sin embargo, el rango en el que los animales detectan el sonido varía en frecuencia y amplitud, así como características específicas de la especie (Nichole *et al.*, 2016).

Por otra parte, el nivel de ruido presente es utilizado como guía por los peces juveniles, de manera que éstos interpretan las señales acústicas para obtener información relevante del hábitat en el que se

encuentran, y que posteriormente utilizan para su orientación. Generalmente este comportamiento se presenta en dirección hacia entornos con un menor nivel de ruido (Radford, Stanley, Simpson, y Jeffs, 2011; McCormick, Allan, Harding, y Simpson, 2018), lo cual implicaría una modificación a las áreas de pesca identificadas.

Robinson y Lepper (2013) mencionan que se han llevado a cabo 29 estudios relacionados al ruido generado por actividades de desarrollo de dispositivos de EMR, de los cuales 17 han realizado mediciones durante las fases de construcción y operación. Sin embargo, los autores enfatizan en que, a pesar de que pareciera ser un número extenso de estudios, son realmente escasas las bases de datos para caracterizar la radiación de ruido producida por estos dispositivos, lo cual presenta serios retos para su evaluación ambiental. Al margen de las dificultades asociadas a la caracterización del ruido en dispositivos de generación a partir de corrientes marinas y olas, un resumen de los principales resultados obtenidos por dichos autores incluye:

- El ruido generado en la etapa de construcción puede exceder los niveles de ruido generados en la etapa de operación.
- Se requiere una mayor recolección de datos de calidad respecto a cambios de comportamiento de organismos marinos cerca de los dispositivos en cuestión.
- Las mediciones de ruido de un dispositivo de EMR son normalmente difíciles de distinguir del sonido ambiente.

Según Thomsen *et al.* (2015), el ruido generado durante la construcción de OWF, especialmente el proveniente de la colocación de pilotes, es de particular importancia ya que se ha registrado que exceden los regulatorios por algunos miembros de la Unión Europea. En cuanto al ruido durante la etapa de operación, este normalmente se encuentra dentro de los límites establecidos. Los autores señalan que respecto a dispositivos de corrientes marinas y olamotrices, se cuenta con menos información, sin embargo, al presentar actividades similares durante la etapa de construcción, éstos pueden presentar los mismos niveles de ruido que un dispositivo OWF. Estos autores mencionan que es esperable que la operación de un dispositivo de corrientes marinas y olamotriz presente niveles de ruido comparables con embarcaciones de tamaño mediano.

Según Jiménez (2016), el aumento en el ruido marino provoca cambios en el comportamiento de algunas especies marinas, desde la frecuencia en que visitan la superficie para respirar, hasta desplazamientos para evitar las zonas de alto ruido, lo cual puede generar sustituciones de hábitats y reducciones en la ingesta de alimento. El autor menciona que las embarcaciones comerciales generan

ruido a partir de la cavitación (la formación y explosión de burbujas que generan sus propelas) el cual se traslapa con el rango de bajas frecuencias que utilizan muchas especies de cetáceos para vocalizar, interfiriendo con su comunicación, y que por lo tanto cuando el ruido ambiental aumenta, las ballenas disminuyen los parámetros temporales y espectrales de su vocalización que es utilizada principalmente en cortejos para la reproducción.

Estudios realizados por Halvorsen *et al.* (2012) en especies juveniles de salmón, evidenciaron que al exponerse por tiempos prolongados a sonidos de turbinas, los individuos presentaron daños en sus tejidos. Los investigadores profundizaron su análisis en barotraumas como consecuencia de dicha exposición, el cual es generado por sonidos impulsivos que ocurren cuando hay cambios instantáneos en el volumen y/o estado de los gases corporales de los peces, así como cambios rápidos de la solubilidad del gas en su sangre y tejidos, de manera que si la presión aumenta la solubilidad disminuye y viceversa. Los autores aclaran que este daño en los tejidos puede provocar embolias en las que se da la ruptura de tejidos e incluso la alteración o daño de órganos vitales como el corazón, riñones, y cerebro, siendo uno de los principales órganos afectados la vejiga natatoria en los peces óseos, la cual al expandirse provoca empujes hacia los órganos colindantes e incluso su misma ruptura, llevando a alteraciones en la capacidad de natación y control de flotabilidad neutral del pez. Es relevante extrapolar este factor ya que abarca la naturaleza fisiológica de la totalidad de peces óseos.

La caracterización de la fuente de ruido, su comportamiento estacional y los mecanismos para su mitigación todavía es, lamentablemente, un área pobremente desarrollada (Ellison, *et al.*, 2012; Kastelein, *et al.*, 2013; Copping *et al.*, 2016a). Según Salgado (2018), actualmente es muy difícil clasificar las vocalizaciones de muchas especies pertenecientes a la familia Delphinidae, haciendo que los resultados de los estudios bioacústicos sean ineficaces para otras especies. Es por esto por lo que se requiere mayor investigación que permita abarcar el tema de la caracterización de ruido.

Adicionalmente, según el NREL (2010) el sonido generado por las turbinas de un OWF se encuentra en el mismo rango de frecuencias que los generados por las embarcaciones existentes, así como el viento y el oleaje. En la Tabla 5.4 se observa la intensidad de algunos sonidos antropogénicos.

Tabla 5.4. Intensidades de diferentes sonidos antropogénicos. Fuente: Adaptado de NREL, (2010); Beharie y Side, (2012); Haikonen, Sundberg, y Leijon, (2013); Robinson y Lepper, (2013) y Cruz, Simas, y Kasanen, (2015).

Fuente	Intensidad (dB re 1μPa a 1 m)
Umbral de audición humano	0
Umbral de dolor humano	140
Buque cisterna	177
Rompehielos	183
Sirena de embarcación a 30 m	130
Clavado de pilotes (Reino Unido)	262
Clavado de pilotes (a 30 m), (Suecia)	140-180
Clavado de pilotes (a 400 m), (Alemania)	180
Parque eólico continental a 350 m	35-45
WECs en Lysekil *	140
WaveRoller ‡	115-130
Pelamis P2 †	133-137
Wello Penguin ^r	140.5

*Lysekil consta de dos WECs en Suecia, las mediciones se realizaron con altura de olas <0.5 m. (Haikonen, Sundberg, y Leijon, 2013)

‡ WaveRoller es un OWSC colocado a 800 m de la costa y en profundidades entre 10 y 25 m. (Cruz, Simas, y Kasanen, 2015)

† Pelamis P2 es un WEC atenuador flotante de gran área superficial, las mediciones fueron en Billia Croo Wave Energy Test Site (Robinson y Lepper, 2013)

^rEl sistema de enfriamiento del dispositivo Wello Penguin fue evaluado mientras se encontraba anclado en Island of Hoy, Orkney, Escocia. El sistema consta de dos abanicos y una bomba central. (Beharie y Side, 2012)

Ubicado en Peniche, Portugal, el WaveRoller fue analizado por Cruz *et al.* (2015), quienes determinaron que la frecuencia de sonido que produce (125 Hz) es menor que el umbral para cetáceos clasificados en medias y altas frecuencias de escucha. Sin embargo, las autoras especulan que los niveles de ruido del WaveRoller podrían provocar cambios de comportamiento en algunos otros cetáceos.

Algunas aproximaciones se pueden observar en la Tabla 5.5, en la que el Washington State Department of Transportation (WSDOT, 2017) recopiló los umbrales relacionados con la afectación de la colocación de monopilotes. Cabe destacar que los pinnipedios son mamíferos marinos que incluyen las focas, morsas y elefantes marinos, de los cuales en Costa Rica solo se ha reportado ocasionalmente la ocurrencia del león marino (*Zalophus californianus*) en la Isla del Coco, y en Pacífico central (Mora, 2000).

Tabla 5.5. Umbrales de disturbios y afectación en mamíferos marinos y peces por actividades de construcción marina.
Fuente: Adaptado de WSDOT, (2017).

Grupo funcional auditivo	Límites de ruido aéreo	Límites de ruido acuáticos (RMS)		
	Nivel de presión sonora eficaz (RMS)*	Umbral de disturbios por clavado vibratorio de pilotes	Umbral de disturbios por clavado de pilotes por impacto	Umbral de afectación
Cetáceos	NA	120 dB	160 dB	180 dB
Pinnípedios	Disturbio: 100 dB para leones marinos (re: 20 μ Pa ² sec)	120 dB	160 dB	190 dB
Peces \geq 2 gramos	NA			187 dB SEL [‡] acumulativo
Peces < 2 gramos	NA	Umbral de efectos en comportamiento: 150 dB		183 dB SEL [‡] acumulativo
Peces de todo tamaño	NA			Pico 206 dB

*El nivel de presión sonora eficaz (RMS en denominación inglesa) es la raíz del valor eficaz de un único evento de presión de impulso del clavado de un pilote.

‡SEL: nivel de exposición sonora por sus siglas en inglés

A manera de comparación de la información presentada en las tablas Tabla 5.4 y Tabla 5.5, se puede inferir que con base en los resultados de intensidad de clavado de pilotes a 400 m y el umbral de afectación de cetáceos y peces de menor tamaño, dicha distancia (sujeta a la variabilidad del sitio) puede ser suficiente para evitar que las actividades de clavado de pilotes resulten dañinas.

Algunos estudios realizados en animales durante las etapas de construcción del PrEMs, han encontrado impactos a corto plazo como resultado de los altos niveles de ruido causados por perforación y clavado de pilotes. A manera de mitigación de este potencial efecto en los mamíferos cercanos, se han utilizado dispositivos acústicos como “pingers” y ahuyentadores de focas previo a la construcción para dispersarlas y de este modo reducir dichos efectos temporales (NREL, 2010). Este tipo de tecnologías, según Salgado (2018), presentan retos importantes, a ser: pueden ser impactados por las corrientes, algunas conllevan muchos recursos y tiempo para ser creadas, y tecnologías como la de creación de cortinas de burbujas puede seguir aportando a los niveles de ruido a través del movimiento de sedimento provocado.

Según las referencias consultadas, el principal reto comprende la distinción entre el ruido generado por un dispositivo durante la etapa de operación del proyecto y el ruido ambiente. Adicionalmente, las frecuencias mencionadas interfieren con aquellas que utilizan poblaciones de grandes pelágicos

para efectos de comunicación y reproducción. Sin embargo, la abundante fauna pelágica de menor tamaño es también vulnerable a barotraumas en sus tejidos. Esto sugiere que se debe otorgar especial atención a su cuantificación en los ecosistemas nacionales, ya que la ruta que han seguido las investigaciones internacionales denota un importante reto de investigación que permita arrojar resultados decisivos.

5.1.5 Cambios en el medio físico por extracción de energía

En cuanto a la ubicación de dispositivos mareomotrices u olamotrices en el ambiente marino, éstos cambiarán inevitablemente la circulación del agua y/o la altura de las olas respectivamente. Sumado a esto, al remover energía cinética para generar electricidad, serán alterados sistemas como la circulación, transporte de sedimentos, y mezclado (Copping y Hanna, 2016). Además, la presencia de un dispositivo estático en el lecho marino podría causar erosión en ambientes altamente energéticos (Chen *et al.*, 2013).

Copping *et al.* (2013) señalan que los cambios en flujos pueden resultar en:

1. Cambios en hábitats benthicos y deposición de sedimentos.
2. Alteraciones en tasas de descargas de agua oxigenada en cuerpos de agua encerrados que podrían consecuentemente afectar la calidad del agua.
3. Cambios en la mezcla y estratificación de la columna de agua que podría afectar la producción y cadena alimenticia primaria.
4. Cambios en distribución de larvas de animales planctónicos y/o semillas y propágulos de plantas marinas.

Un caso de estudio llevado a cabo en Perranporth Beach, Cornwall, Reino Unido, fue utilizado para examinar el impacto de un conjunto de WECs en un perfil de playa (Abanades, *et al.*, 2014). Dicho parque consistió en 11 dispositivos de tipo WaveCat, cuyo principio de operación es el rebosamiento, los autores hallaron una reducción de flujo de energías de las olas en un 12% y un decrecimiento en la altura de las olas que excede el 30%. Además, concluyeron que los efectos de remoción de energía local causados por estos dispositivos podrían impactar el transporte de sedimentos, provocando así la evolución del perfil de playa y sugiriendo el posible uso de los parques de WECs como un elemento de defensa costero.

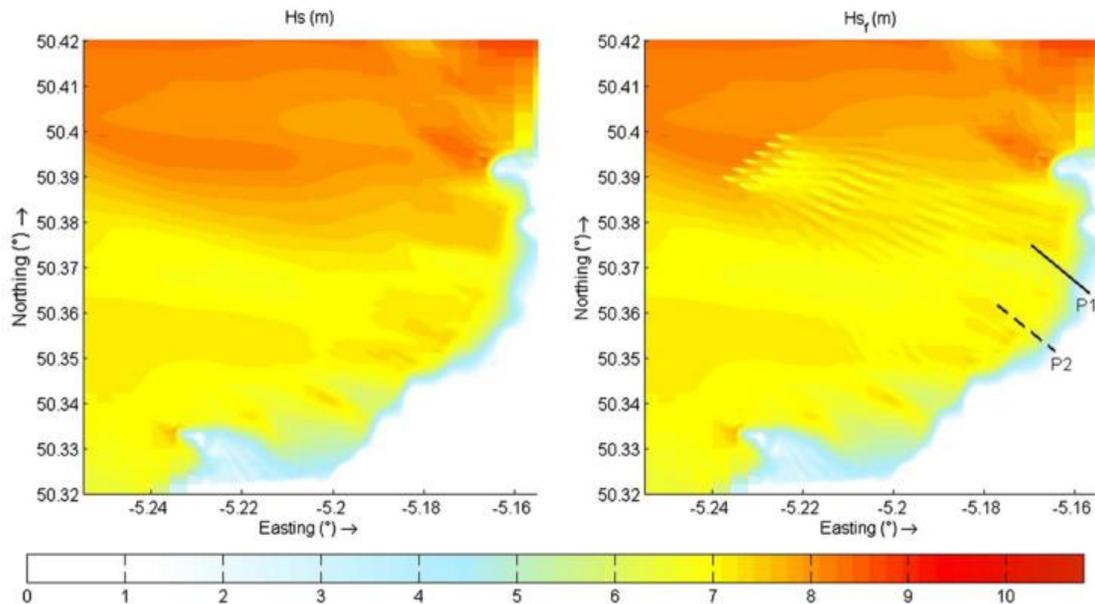


Figura 5.9. Alturas de olas significativas en el escenario base (izq) y en presencia del parque olamotriz (der) en un pico de tormenta. Se señalan los perfiles P1 y P2. Fuente: Abanades *et al.*, (2014).

Estudios realizados por Kregting *et al.* (2016) en flujos energéticos en Irlanda, donde se ubica el proyecto Sea Gen, un estilo individual de PrEM de corrientes a gran escala, utilizaron modelaciones matemáticas que concluyeron que la remoción de energía causada por el dispositivo durante su operación presenta bajas probabilidades de tener un efecto significativo en las comunidades bentónicas en ambientes de flujos altos de energía. Sin embargo, autores como Copping *et al.* (2014) mencionan que será necesaria la presencia de grandes parques marinos para lograr la medición real del comportamiento.

Una de las preocupaciones asociadas a la modificación del medio físico es la reducción del tamaño y calidad de ola para actividades recreativas como el surf (Surfers Against Sewage, 2009, Leeney *et al.*, 2014). Algunos prototipos olamotrices como el WEC “Cornwall's Wave Hub” en Reino Unido, han sido cuestionados por su impacto en esta actividad (Bonar, Bryden, y Borthwick, 2015). Los autores mencionan que la comunidad consultada expresó preocupación por un detrimento en las condiciones de surf local, a pesar de que se trató de un proyecto pequeño de demostración, es decir una etapa temprana, lo cual podría significar un mayor rechazo al aumentar la magnitud del proyecto. Según O’Hagan *et al.* (2016) esta preocupación también ha estado presente en el proceso de consentimiento de proyectos en Irlanda y Portugal.

De acuerdo con el ICT, en Costa Rica en el año 2017 el turismo generó 3.667 millones de dólares americanos, mucho más que los ingresos por ventas externas de café, banano, servicios empresariales

y productos médicos (Programa Estado de la Nación, 2017). Además, según Mok (2014) los datos del ICT indican que en promedio un 20% los turistas que visita el país anualmente, incluye el surf dentro de sus actividades deportivas. Esta información permite la identificación de uno de los sectores que serán claves para la aceptación de proyectos de energía marina en el país.

Los principales retos que presenta este riesgo se basan en la diversidad de información existente para predecirlo (Whiting y Copping, 2016). Los autores exponen que esto se debe a ciertas variables que aún se encuentran pendientes de resolver, como lo es el diseño de los parques de PrEMs, que tendrán configuraciones y arreglos de redes variables; la validación de los modelos de predicción aún está en proceso; los datos de turbulencia para efectos de optimización y perduración de los proyectos no están debidamente colectados para informar modelos numéricos; las escalas de distancia utilizadas en las modelaciones existentes han considerado las cercanías directas del PrEM o a mayores distancias cercanas a la costa, dejando por fuera las variables biológicas que normalmente no distinguen entre ambos extremos; y finalmente el efecto acumulativo de varios parques de energía marina en zonas cercanas.

5.1.6 Efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos

Las tecnologías descritas, independientemente de su principio de funcionamiento, comparten finalmente la necesidad de una subestación eléctrica marina, según Díaz y Ángeles (2015) estas subestaciones contienen transformadores de potencia utilizados en el paso de salida de la planta para llevar niveles de voltajes medios a niveles de alta tensión, así como interruptores de circuito y conmutadores utilizados para realizar funciones de conmutación e interrupción en caso de fallo. Dentro de las subestaciones existentes, se encuentra la subestación convertidora de corriente alterna a corriente continua (AC y DC respectivamente por sus siglas en inglés) para la transmisión a tierra.

Un esquema de la red de interconexión entre las turbinas marinas y la red eléctrica continental se muestra en la Figura 5.10, donde se denota que las turbinas se conectan a los transformadores por medio de anillos, los cuales a su vez llegan a un bus dentro de la subestación que se encuentra conectado a un convertidor de corriente alterna a corriente directa, el cual se va a transmitir por medio de cables enterrados en el fondo marino hasta otra subestación en tierra donde nuevamente se transforma la corriente directa a corriente alterna y es transmitida a la red (Díaz y Ángeles, 2015).

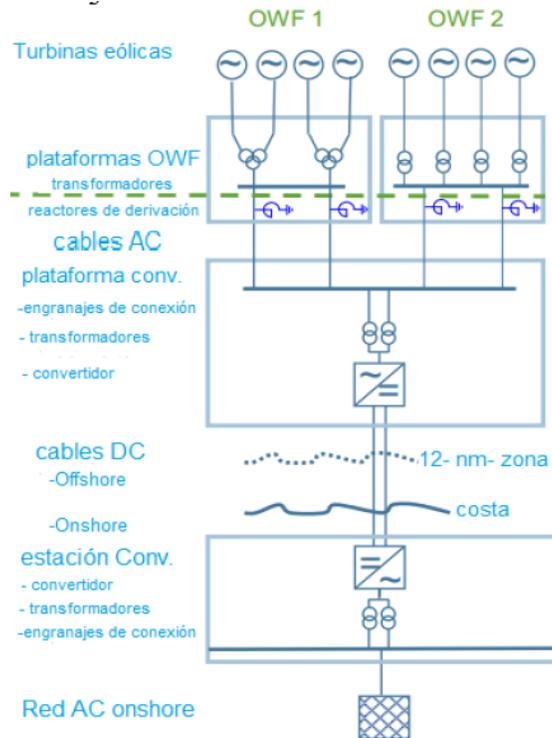


Figura 5.10. Sistema de interconexión eléctrica-marina-continental. Fuente: Díaz y Ángeles, (2015).

Los campos electromagnéticos (EMF por sus siglas en inglés) son generados cuando la energía es transmitida a través de cables desde las partes móviles de los dispositivos (Copping y Hanna, 2016). A pesar de que los EMF no son nuevos en el ambiente marino, según el reporte del ANNEX IV (2016), existe inquietud en cuanto a ciertas afectaciones:

1. Organismos marinos que utilizan los campos magnéticos naturales de la Tierra para su orientación, navegación y cacería.
2. Organismos marinos como elasmobranquios, mamíferos marinos, crustáceos, tortugas marinas, y otros que poseen electro- o magneto- receptores que les permiten detectar campos eléctricos o magnéticos (Bedore y Kajiura, 2013; Putman *et al.*, 2014).
3. La habilidad de estos animales de detectar o responder a campos magnéticos naturales, potencialmente afectando su supervivencia, éxito reproductivo, o patrones migratorios (Electric Power Research Institute, 2013). Es ampliamente estudiado que estos organismos utilizan principalmente el campo geomagnético de la Tierra como guía en su orientación y navegación (Gill, 2016).

Según (Gill, 2016), los campos magnéticos son calculados en unidades de Tesla (T), mientras que los campos eléctricos en Voltios por metro (V/m). En ciencias ambientales se suele utilizar el término de campo eléctrico inducido, cuando se cuantifican aquellos campos eléctricos generados como consecuencia de un campo magnético, y también se mide el V/m. Este último término es de relevancia ya que los cables de evacuación eléctrica típicos de un PrEM son normalmente cables trifásicos de AC, los cuales cuentan con un recubrimiento aislante de campo eléctrico, más no son capaces de aislar el campo magnético. En ambientes continentales dicho recubrimiento logra su objetivo, sin embargo, al colocarse en el fondo marino, el campo magnético que rodea al cable, al encontrarse en un medio conductor (sedimentos marinos y agua salada) genera un segundo campo eléctrico fuera del recubrimiento, denominado campo eléctrico inducido, como se observa en la Figura 5.11. Los organismos marinos sensibles a campos eléctricos detectan dichos campos así sean emitidos directamente o inducidos por campos magnéticos.

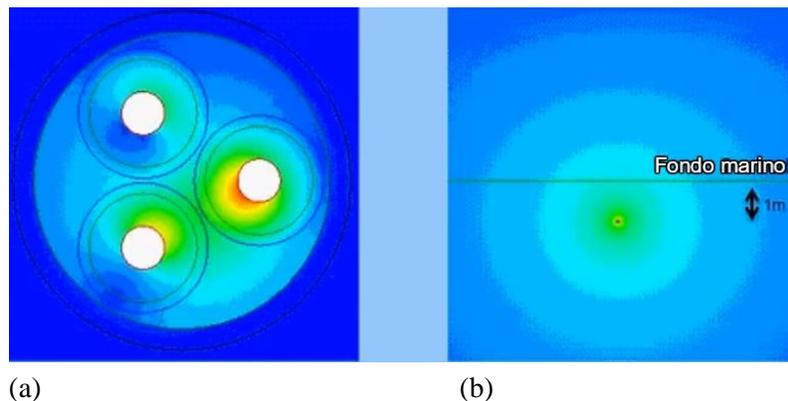


Figura 5.11. Vista del corte transversal de un cable de alimentación (AC) trifásico, y su campo magnético. (a) Interno (b) Externo. Fuente: Gill, (2016).

El campo magnético natural de la Tierra es el campo magnético predominante en el océano, presentando valores cercanos a $30 \mu\text{T}$ en el Ecuador, y a $60 \mu\text{T}$ cerca de los polos (Gill, 2016). Según el autor, se cuenta con estudios que han revelado que es poco probable que, al insertar cables por acción antropogénica, haya un impacto sobre los organismos si el campo se mantiene en esos valores o menores.

En un PrEM eólico, los valores máximos que se han registrado en campos magnéticos son de 4nT y eléctricos de 0.3mV/m , lecturas comúnmente encontradas a una distancia de 100 metros de desde el cable, y normalmente detectados en el trayecto entre dos turbinas, pero presentando valores mayores en el cable que conecta la red en tierra (Gill, 2016). Un ejemplo de la configuración de dicha red se observa en la Figura 5.12, así como en la Figura 5.13 la instalación de este último cable en un OWF en Dinamarca.

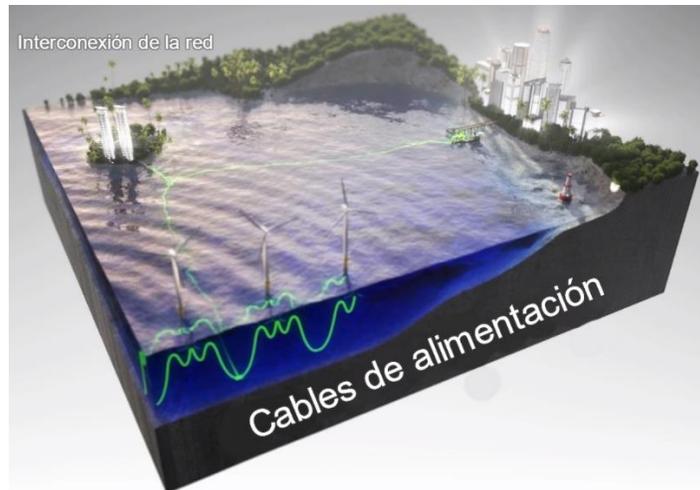


Figura 5.12. Esquema de la configuración de cables de evacuación eléctrica para un OWF. Fuente: Makai Ocean Engineer, (2017).



Figura 5.13. Colocación de cables de evacuación eléctrica de 245 kV a nivel costero. OWF Anholt, Dinamarca Fuente: Nordiske Kabel og Traadfabriker (NKT), (2013).

Los hábitats más vulnerables son los cercanos a la eventual ubicación del cable, es decir aquellos organismos que habitan cerca o directamente en el fondo marino, especialmente si son hábitats sensibles y que no se puedan movilizar; en comparación con aquellos animales que pueden esquivar o alejarse de la zona si les fuera necesario (Gill, 2016). Woodruff, (2013) reporta de sus estudios controlados de laboratorio, a pesar de no obtener resultados estadísticamente significativos, que: el salmón plateado mostró disminución en su actividad de nado; los exámenes hormonales no sugieren estrés, pero que se observó decrecimiento en los niveles de melatonina (fiable señal estacional para estos organismos); los huevos de trucha arcoíris expuestos a campos electromagnéticos de 3 mili

Tesla (mT) mostraron algún retraso en su desarrollo; el halibut atlántico exhibió un crecimiento y desarrollo reducidos al ser expuestos a campos electromagnéticos de 3 mT.

Algunos organismos sensibles a campos eléctricos (como tiburones, rayas y mantarrayas) presentan límites mínimos de detección de 5 – 20 nV/m (Gill, 2016). Bedore y Kajiura, (2013) mencionan que los electrorreceptores de estos animales son bien estudiados por su uso para detección de presas, reconocimiento y detección de predadores, además de que se ha hipotetizado su rol en navegación y orientación. La profundización en el estudio de este comportamiento es clave para las comunidades de elasmobranquios presentes en el océano costarricense, ya que según MarViva, (2015), 27 especies de tiburón se encuentran en su categoría máxima de amenaza según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y de acuerdo a la resiliencia de su comunidad.

Según Copping *et al.*, (2016a) a pesar de que la investigación es limitada, los cables submarinos naturalmente de fuentes antropogénicas han estado presentes en el ambiente marino por más de cien años, y los efectos de campos magnéticos asociados no han sido claramente identificados. Se han realizado estudios que muestran un evidente comportamiento de evasión a niveles cercanos a 1000 $\mu\text{V/m}$ y mayores, más no es conocido su impacto o afectación por la exposición a dichos campos (Gill, 2016). El autor menciona que esta respuesta de evasión es estudiada en organismos migratorios principalmente como una percepción de efecto de barrera.

En caso de que una cantidad considerable de individuos migratorios fuera afectada por los EMF, presentando reacciones de evasión cerca de los campos, de manera que sus rutas se vieran modificadas, provocaría un impacto acumulado en cuanto deberían gastar energía en recorrer distancias mayores. Este comportamiento también se relaciona con las aves migratorias esquivando OWF (Masden *et al.*, 2009).

El estudio de mamíferos o tortugas marinas no ha sido sujeto de gran cantidad de estudios, principalmente porque los campos magnéticos de un PrEM no suelen ser mayores a los geomagnéticos (Gill, 2016). En el caso de las tortugas marinas, es bien conocido (Lohmann, *et al.*, 2007; Putman, *et al.*, 2011; Lohmann, *et al.*, 2012; Brothers y Lohmann, 2015) que utilizan los campos electromagnéticos naturales del planeta como guía en sus rutas de desove y migratorias. Según Cajiao *et al.* (2010) Costa Rica es hogar de seis especies de tortugas marinas catalogadas como “Poblaciones en peligro de extinción” por el Reglamento a la Ley de Conservación de Vida Silvestre, Decreto Ejecutivo N° 32633-MINAE. La lista mencionada incluye a las tortugas negra, cabeza o caguama, carey, verde, baula y lora.

El modelaje de EMF aporta una herramienta de utilidad en cuanto a pruebas de diseños de configuración del cable, de manera que disminuya los riesgos, así como los costos de instalación de un PrEM (Gill, 2016). Dicho autor menciona que, en la actualidad, las instalaciones existentes que constan de dispositivos individuales o a pequeña escala, no presentan EMF suficientes como para catalogarlos como riesgo; sin embargo, se ha recomendado profundizar el estudio referente a redes de una mayor cantidad de dispositivos pues esto aumentará la corriente en los cables ya que campo magnético emitido por un cable de evacuación eléctrica de un PrEM dependerá de la magnitud del proyecto.

5.1.7 Alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes

La creación de nuevos hábitats puede ser impulsada por la introducción de infraestructura para la obtención de energía marina, proporcionando soporte para algunas especies en áreas en las que éstas normalmente no estaban presentes (Adams *et al.*, 2014), y brindando conectividad entre hábitats adyacentes, lo cual podría permitir la movilización de especies por amplias distancias que eran previamente imposibles (Miller *et al.*, 2013). Estos nuevos hábitats podrían llevar a ciertas especies al éxito, sin embargo también, se pueden crear condiciones para que especies invasivas (no nativas) adquieran un punto base que les permita moverse a través de los hábitats, ya que los dispositivos pueden resultarles atractivos (Mineur *et al.*, 2012; Witt *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2013; Bergstrom *et al.*, 2014; Chen, Lam, y Shamsuddin, 2013).

Algunas de las tendencias dominantes que se han documentado, son aumento en especies asociadas a sustratos duros, especialmente bivalvos bentónicos, crustáceos y peces asociados con arrecifes, así como una disminución en abundancia de algas (Ashley, Mangi, y Rodwell, 2014). Según los autores, los ensamblajes asociados con estructuras de concreto complejas revelaron mayor similitud a los sustratos duros naturales, en comparación con las estructuras de acero; y se han documentado efectos positivos en la abundancia de especies de crustáceos de importancia comercial. Estos factores llevan a los mismos autores a sugerir la incorporación de las OWF como zonas de restricción pesquera dentro de áreas protegidas marinas; sin embargo, recomiendan que se profundice la investigación para reunir evidencias suficientes que permitan proponer opciones de manejo de manera oficial.

Tomando como ejemplo las medidas de protección del hábitat como los programas llamados “Rigs to Reefs”, en los que las plataformas petrolíferas son transformadas en arrecifes artificiales; Smyth *et al.*, (2015) proponen un escenario similar en el que las estructuras de dispositivos de EMR son

acopladas para mantenerse en su lugar aún en los años posteriores a su desmantelamiento, teniendo en cuenta que al mantener las estructuras de soporte de dichos dispositivos, es posible obtener hábitats valiosos. Adicionalmente, los autores mencionan que dicha propuesta requiere la incorporación de principios ecológicos de ingeniería al proceso, de manera que se pueda proveer un hábitat adecuado. Debido a que la ubicación de la mayoría de OWF es en aguas poco profundas, los autores mencionan que no sería posible abandonar la totalidad de su estructura, sino que se debe recortar su parte superior en la medida necesaria con el fin de no dejar ningún componente de la estructura sobre el nivel del mar, proporcionando así un nivel aceptable para la navegación.

En el caso de la formación de arrecifes artificiales por comunidades de moluscos, una de las especies que más se ha presentado es un tipo de molusco mediterráneo (*Mytilus galloprovincialis*), el cual, por su naturaleza de respiración y producción de carbonato de calcio ha sido considerado un importante sumidero de dióxido de carbono (Munari, *et al.*, 2013). Este comportamiento ha sido cuestionado y contradicho por las autoras, quienes cuantificando el CO₂ liberado en forma de precipitación de CaCO₃ obtuvieron una mayor cantidad de este en comparación con el CO₂ fijado por respiración. Esta naturaleza de investigaciones abre espacio a cuestionamientos similares en busca de la caracterización de los sitios de interés como entes emisores o sumideros de dióxido de carbono cuando se da la presencia de moluscos semejantes.

En resumen, la interconexión entre distintos arrecifes gracias a la inserción de una nueva estructura dependerá de la ubicación del proyecto, así como la distancia que lo separe de dichas zonas. Según Alvarado, (2018) a pesar de que la mayoría de arrecifes nacionales se encuentran en zonas protegidas, es necesario establecer un “buffer” o zona de amortiguamiento desde el límite del área protegida, de manera que se evite la cercanía de un PrEM. En Costa Rica, se ha buscado la generación de este tipo de estructura artificial (Gobierno de Costa Rica, 2017) en sitios como Playa Hermosa. Sin embargo, según Sather *et al.* (2016) a pesar de que se han monitoreado dispositivos que no han presentado daños en las comunidades bentónicas cercanas o peces de arrecife, la escala de tiempo durante la cual se han realizado estos monitoreos no es suficiente para permitir visualizar cambios o asegurar un equilibrio positivo con las poblaciones cercanas.

5.1.8 Riesgo de derrame de productos químicos

Los productos químicos provenientes de coberturas o pinturas en superficies exteriores utilizadas para prevenir la incrustación biológica y/o corrosión, así como productos químicos derramados en el área circundante provenientes de embarcaciones o dispositivos de energía marina defectuosos; pueden

lixiviar hacia el ambiente marino (Copping *et al.*, 2015). Los métodos innovadores anti incrustantes son aún demasiado costosos para implementar comercialmente, en particular para amplias superficies y por tiempos tan largos como los previstos para las tecnologías tipo WEC (Tiron, *et al.*, 2015).

El Convenio para la Protección y Desarrollo del Medio Marino y su protocolo para combatir derrames de hidrocarburos en la región del Gran Caribe se aplica a los daños ocasionados por contaminación en el territorio de un estado contratante, incluido el mar territorial de éste; la zona económica exclusiva de un Estado contratante; y se aplica también a las medidas preventivas, donde quiera que se tomen, para evitar o reducir al mínimo tales daños (Cajiao *et al.*, 2010).

Los productos químicos antiincrustamiento podrían inducir al incremento en la mortalidad o a la reducción de capacidades físicas de especies de plancton, mientras que el zooplancton podría verse directamente afectado debido a la alta mortalidad que produciría el paso de la maquinaria (Witt *et al.*, 2012). Además, Lamn y Roy (2014) señalan la importancia de un buen confinamiento del fluido de trabajo en sistemas OTEC, ya que los peces son altamente vulnerables a un potencial derrame de amonio. A diferencia de la mayoría de países experimentados en EMR, el manejo ambiental de dicho fluido debe tomar mayor relevancia, ya que Costa Rica se ubica en una zona tropical en la que el recurso para la tecnología de OTEC es catalogado como uno de los mejores.

Respecto a los sistemas RED, es relevante el análisis en torno a su ubicación usual en esteros y ríos. Según Kempener y Neumann, (2014), este sistema no consume agua ni sal en su proceso, sin embargo, se requiere que ingrese una cantidad considerable tanto de agua dulce como salobre. Este aspecto es comparable con los sistemas hidroeléctricos, en los que se suele limitar la cantidad del fluido de entrada. En plantas RED independientes (cuando no son parte de otro sistema), tanto el punto de entrada como el de salida requieren desarrollar experiencia en su mitigación. Por ejemplo, se debe considerar la configuración de la planta, en caso de rodearse directamente de zonas de recirculación, lo cual aumentaría el riesgo para los organismos, por lo tanto, el diseño de la planta debe ser contemplado a la medida hidro-dinámicamente para evitar estos riesgos. Además, es probable que la presencia de la planta atraiga peces como resultado de la redistribución de nutrientes en el agua. Este balance neto se debe evaluar y de ser posible diseñar medidas de mitigación, para lo cual se puede obtener inspiración de plantas hidroeléctricas que presentan efectos comparables.

5.1.9 Análisis de partes interesadas

En esta sección se presenta la opinión de especialistas que pertenecen a diferentes grupos, cuya información se puede consultar en el Apéndice 2. Información de partes interesadas, como resultado de las entrevistas realizadas.

El análisis de los sectores que mantienen una relación con las actividades características de PrEMs arroja resultados coincidentes respecto a la urgencia de establecer esquemas de desarrollo que sean ambientalmente sostenibles. Se tiene consciencia de que a pesar de la escasa viabilidad económica de un PrEM en el país actualmente, la energía marina será una realidad en el futuro, y se deben asumir responsabilidades de conservación ecológica con anticipación para poder efectuarlo de manera responsable.

Según la información disponible, así como la experiencia profesional del grupo consultado, es probable que, siguiendo una guía de conservación marina, existan sitios ubicados el Pacífico Central en las que se podría colocar un PrEM. El esfuerzo por determinar las áreas de importancia ecológica para la conservación ha tenido avances relevantes, como lo es el proyecto GRUAS II del SINAC, en el que se proponen nuevas áreas con base en hallazgos de vacíos de conservación. Sin embargo, existe la necesidad de dar continuación a proyectos en esta línea, de manera que se mantenga la actualización de información, siendo que la existente data del 2008.

Existe consenso en que la oportunidad de electrificar zonas costeras con energía marina no es de relevancia en Costa Rica, pues en general no son zonas de difícil acceso y hasta la fecha se han resuelto utilizando energía solar. Sin embargo, los esfuerzos para desarrollo económico que se han colocado en estas zonas presentan retos importantes referentes al costo de la energía, ya que la realidad es que las oportunidades de financiamiento existentes para Pequeñas y Medianas Empresas son todavía un obstáculo.

Las preocupaciones relacionadas a la afectación por parte de un PrEM a grandes pelágicos como especies migratorias de ballenas, delfines, tiburones y tortugas; caracteriza una burbuja de seres vivos con alto atractivo social y turístico. Sin embargo, los especialistas enfatizan la urgencia de caracterizar también aquellas poblaciones que normalmente son invisibilizadas, por ejemplo, los crustáceos.

Por otra parte, la mayor preocupación coincidente es el ruido generado por los dispositivos. Este tema requiere una importante dedicación de esfuerzos en caracterizaciones del ambiente marino y las especies asociadas de manera que, al considerar la inserción de una actividad antropogénica, se

puedan cuantificar las diferencias entre un “antes” y un “después”, constituyendo una herramienta útil en la toma de decisiones.

Se considera que la actividad pesquera es un factor de alta relevancia pues tanto sus áreas podrían verse afectadas por la inserción de PrEMs, también ellas pueden afectar la infraestructura tanto del dispositivo estático, como el cableado de un PrEM. Del mismo modo se destaca que no existen rutas de navegación definidas oficialmente, y la adecuada planificación espacial será vital para regular estas actividades.

Se observan por otra parte, oportunidades de aprovechamiento de los cambios físicos que provoquen PrEMs olamotrices para protección costera, considerándose la disminución de la variabilidad del borde costero al disminuir el fenómeno de erosión como consecuencia de la disminución de altura de olas. En cuanto a las afectaciones en el sector turismo, se presentan preocupaciones divergentes: al disminuir la altura de ola, es probable que disminuya turismo de deportes como el surf; sin embargo, a su vez disminuyan las corrientes de resaca, convirtiendo las playas en sitios más seguros para bañistas. Esto sin dejar de lado que la inserción de un PrEM se sigue considerando causante de cambios físicos muy puntuales.

A nivel nacional existen herramientas suficientes y capacidad profesional para investigar las vulnerabilidades identificadas, ya sea a nivel de campo o a nivel de aproximaciones por medio de modelaciones numéricas. Se cuenta incluso con proyectos en desarrollo, que se encuentran relacionados de diversas formas con lo que sería un proyecto de energía marina, principalmente avances en propuestas de planificación espacial marina y caracterización de zonas de importancia ecológica, lo cual constituye información de gran utilidad para la toma de decisiones. Simultáneamente, se propone tomar como guía las buenas prácticas de evaluaciones ambientales para proyectos experimentados como por ejemplo de los sectores de petróleo y gas.

Se coincide en que la variable ambiental debe incluirse desde las etapas tempranas de diseño en un proyecto de estos, y para lo cual los desarrolladores, diseñadores o generadores de conocimiento tecnológico están anuentes a recibir información al respecto.

5.2 PRIORIZACION DE FACTORES AMBIENTALES

Los resultados del cruce entre actividades y factores asociados a un PrEM en Costa Rica, provenientes de la Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales (MVVA) se observan en la Figura 5.14. Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales. (Color rojo: Afecta negativamente, Color verde: Afecta positivamente, NA: No aplica) En ella se evaluó, cada hallazgo obtenido de la literatura referente a riesgos ambientales y los factores ambientales que se le asocian.

La presencia de una interacción con impactos negativos fue señalada con simbología de color rojo, de manera que al sumarse horizontalmente y ordenarse de acuerdo al mayor puntaje obtenido, se obtuvo una lista de aquellos factores que se verían afectados negativamente por más de una actividad durante el PrEM, como se muestra en el Cuadro 5.1 y que por ende requieren mayor análisis, el cual es presentado posteriormente.

Factores		Construcción				Operación										Cierre		Total
		Tráfico de embarcaciones	Colocación de bases / cimientos	Colocación de cables de alimentación	Iluminación de plataformas	Tráfico de embarcaciones	Presencia de bases / cimientos / líneas de anclaje	Presencia de cables de alimentación	Presencia de dispositivo dinámico	Ruido generado por dispositivo dinámico	Transmisión de electricidad a través de cables	Utilización de productos químicos	Iluminación de plataformas	Venta de energía	Captación e inserción de agua marina	Presencia de cables de alimentación	Presencia de bases / cimientos	
Biótico	Tortugas marinas			NA	NA		NA	NA				NA	NA	NA	NA	NA	NA	6
	Cetáceos			NA	NA		NA	NA	NA			NA	NA	NA	NA	NA	NA	5
	Fauna pelágica (de menor tamaño)	NA	NA		NA	NA		NA				NA	NA		NA			6
	Aves migratorias	NA	NA	NA		NA	NA	NA		NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	3
	Hábitat bentónico	NA			NA	NA				NA		NA	NA	NA	NA		NA	7
	Elasmobranchios	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	2
	Crustáceos / bivalvos	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	1
Abiótico	Dinámica física*	NA		NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	3
	Altura de ola	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1
Socio-económico	Turismo		NA	NA	NA		NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3
	Economía de comunidades costeras	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	1
	Pesca				NA					NA	NA	NA	NA	NA				9
Total		4	5	3	1	4	2	2	9	3	6	1	1	1	2	2	1	

* Circulación de agua / transporte de sedimentos / mezclado / erosión / estratificación columna de agua

Figura 5.14. Matriz de Valoración de Vulnerabilidades Ambientales. (Color rojo: Afecta negativamente, Color verde: Afecta positivamente, NA: No aplica).

Cuadro 5.1. Resultados de la priorización de factores ambientales por puntaje en la MVVA.

Factor	Puntaje
Pesca	9
Hábitat bentónico	7
Tortugas marinas	6
Fauna pelágica (de menor tamaño)	6
Cetáceos	5
Aves migratorias	3
Dinámica física	3
Elasmobranquios	2
Turismo	2
Crustáceos / bivalvos	1
Altura de ola	1
Economía de comunidades costeras	1

A continuación, se discuten las seis principales interacciones entre las actividades de un PrEM y los factores ambientales asociados.

Pesca

Las actividades pesqueras se ven afectadas en general por la falta de delimitación oficial de áreas para su desarrollo (Salas *et al.*, 2012). Los actores entrevistados para la presente investigación mostraron especial preocupación por este factor, ya que el área de pesca podría verse en conflicto con la mayoría de actividades requeridas para la construcción y operación de PrEMs como traslado de materiales y colocación de líneas de cableado de evacuación eléctrica, ya que no existe una delimitación oficial de áreas para tal propósito. Además, se pueden presentar constantes daños en el cableado eléctrico permanente de un PrEM, ya que algunas actividades pesqueras interactúan con el fondo marino.

La presencia del sector pesquero como el principal afectado coincide con la experiencia de desarrolladores europeos. Según (O'Hagan *et al.*, 2016), durante consultas realizadas a desarrolladores de proyectos olamotrices en Dinamarca, Noruega, Francia, Irlanda, Portugal, España, Suecia y Reino Unido, los potenciales impactos en el comercio pesquero son el tema que se categorizó como el de mayor preocupación.

Hábitat bentónico

Este hábitat es vulnerable a variaciones debido a la inserción de infraestructura que modifique el lecho marino (Copping *et al.*, 2013), o atraiga a nuevos organismos que incluyen especies potencialmente invasivas (Chen *et al.*, 2013). Además constituyen el hábitat más cercano a la colocación de cables de evacuación eléctrica y se consideran especialmente vulnerables si son hábitats sensibles y que no se puedan movilizar, en comparación con aquellos animales que pueden esquivar o alejarse de la zona si les fuera necesario (Gill, 2016).

Tortugas marinas

La población de tortugas marinas es vulnerable al choque con embarcaciones (Jiménez, 2016). Además, zonas de anidación masiva de tortugas de como la costa de gran parte de la provincia de Guanacaste ha sido objeto de propuestas como zonas de veda, con el fin de protegerlas de actividades antropogénicas (Arauz *et al.*, 2014).

Este grupo es también objeto de inquietud en cuanto a afectaciones por los campos electromagnéticos, que generan los cables de evacuación eléctrica de un PrEM (Bedore y Kajiura, 2013; Putman *et al.*, 2014), siendo que los organismos en cuestión utilizan los campos geomagnéticos como guía en su orientación y navegación (Gill, 2016). Además, el aumento en el ruido marino degrada su ambiente acústico (Jiménez, 2016).

Fauna pelágica (de menor tamaño)

Este grupo ha demostrado algunas habilidades para esquivar dispositivos dinámicos, sin embargo, se han registrado casos (Romero-Gomez y Richmond, 2014) en los que el nado de salmónidos a través de áreas con turbinas hidro cinéticas, resultó en posibilidad de colisiones. Además, el fracaso en esquivar una turbina aumenta a medida que el nivel de luz disminuye (Hammar *et al.*, 2015).

Datos experimentales de (Halvorsen *et al.*, 2012) en los que se expuso a ciertas especies de peces a sonidos de turbinas por tiempos prolongados, dañaron sus tejidos. Este mismo estresor provoca contaminación acústica, generando cambios en el comportamiento de las especies, como por ejemplo los desplazamientos para evitar las zonas de alto ruido. También puede generar sustituciones de hábitats y reducciones en la ingesta de alimento (Jiménez, 2016).

Por otra parte, se han realizado estudios en algunas especies expuestas a campos electromagnéticos que presentan modificaciones en su comportamiento habitual. Woodruff *et al.*,(2013). Este grupo es también afectado en caso de eventuales derrames de sustancias químicas (Lamn y Roy, 2014).

Cetáceos

Esta población ha registrado vulnerabilidad al choque con embarcaciones (Jiménez, 2016). Además, utilizan el sonido como mecanismo de comunicación, navegación y cacería en el ambiente marino, por lo tanto, el mayor temor es que el ruido emitido durante las etapas de construcción y operación de PrEMs provoque el potencial enmascaramiento de sonidos de ecolocación de este grupo de animales. (Ellison, *et al.*, 2012; Kastelein, *et al.*, 2013). Este grupo es también afectado en caso de eventuales derrames de sustancias químicas (Lamn y Roy, 2014).

En general, la mayor cantidad de interacciones se le atribuyen a la escasa regulación espacial marina. La revisión de literatura evidenció que a selección de la ubicación del proyecto debe verse amparada a un ordenamiento espacial marino el cual en la actualidad es deficiente. Las áreas ecológicas vulnerables no están oficializadas como tales, y los estudios demuestran importantes vacíos en conservación (Alvarado *et al.*, 2011, Jiménez, 2016). Del mismo modo no existen rutas de navegación definidas oficialmente, los actores entrevistados concuerdan en que la adecuada planificación espacial marina será vital para evitar dichos conflictos.

Un resultado colateral interesante se observó al realizar, de manera similar, la suma de interacciones de manera vertical en la MVVA. La actividad que presenta mayor cantidad de interacciones, con factores ambientales, es la presencia del dispositivo dinámico como tal en el ecosistema. Es importante recordar que un dispositivo dinámico puede incluir turbinas hidro cinéticas, turbinas eólicas, y puntos de absorción olamotriz, de manera que se puede inducir que el diseño de este componente requiere especial cuidado, ya que este resultado lo cataloga como el principal causante de afectaciones negativas en el ambiente que le rodea.

5.3 ELABORACION DE GUIA DE CRITERIOS AMBIENTALES

Se elaboró una guía con una serie de recomendaciones que pueden ser de utilidad para un eventual desarrollador de un proyecto de energía marina en Costa Rica, tomando como base los hallazgos de los dos objetivos previos. Dicha guía se presenta en el Apéndice 4. Guía de criterios ambientales.

6 CONCLUSIONES

La información recolectada denota importantes vacíos en áreas de conservación y ordenamiento territorial marino. La sub – representación de las áreas protegidas se ve amenazada por tecnologías e industrias emergentes como la EMR.

Las velocidades de corrientes marinas de Costa Rica no son lo suficientemente altas como para que la fauna marina sea vulnerable al choque con dispositivos estáticos o dinámicos.

La preocupación a nivel nacional por las colisiones de organismos marinos con los dispositivos es mayor en aves que en pelágicos; el primer grupo en relación con el gasto energético adicional que implica el aumento de la trayectoria de las rutas migratorias, y el segundo en cuanto gran parte de las costas nacionales es característica por la alta visitación de animales migratorios como tortugas y ballenas.

Se encontró que la distinción entre el ruido generado por un dispositivo durante la etapa de operación de un PrEM y el ruido ambiente ha sido compleja para los investigadores a nivel internacional. Las frecuencias emitidas por algunas actividades de construcción y operación de los dispositivos interfieren con aquellas que utilizan poblaciones presentes en aguas nacionales, tal es el caso de los grandes pelágicos para su comunicación y reproducción.

La modificación del medio físico, por extracción de energía, como consecuencia de la instalación de parques principalmente olamotrices en Costa Rica presenta divergencias en su conveniencia. Se recolectó información que evidencia que tanto las corrientes de resaca como el fenómeno de erosión se pueden ver disminuidos, trayendo consigo una mayor seguridad para bañistas y disminución de la variabilidad del borde costero respectivamente. Sin embargo, la modificación de las características de oleaje puede ser motivo de oposición por el sector turismo de actividades recreativas como el surf.

Los organismos marinos que poseen electro- o magneto- receptores asociados a la orientación, navegación y cacería, y que son especies en peligro en aguas nacionales son principalmente el grupo de tiburones y tortugas marinas. A su vez, los hábitats más vulnerables son los cercanos a la eventual ubicación del cable de evacuación eléctrica, es decir aquellos hábitats bentónicos u organismos que habitan cerca o directamente en el fondo marino, especialmente si son hábitats sensibles y que no se puedan movilizar.

Las experiencias internacionales permiten asociar la creación o interconexión de hábitats, impulsada por la introducción de infraestructura, con beneficios comerciales. Sin embargo, a nivel nacional se requiere una mayor investigación, lo cual dependerá de la ubicación del proyecto, así como la distancia que lo separe de dichas zonas.

La escala de tiempo durante la cual se han realizado monitoreos de formación de arrecifes artificiales en naciones con experiencia en energía marina, no es suficiente para permitir visualizar cambios o proyectar un equilibrio positivo con las poblaciones cercanas en mares tropicales, como el caso de Costa Rica.

Las actividades de pesca se ubican en el primer lugar dentro del orden de vulnerabilidad ambiental, lo cual denota la urgencia por administrar las áreas que les competen. Les prosiguen la protección de poblaciones de hábitats bentónicos y tortugas marinas.

La actividad de un PrEM que presentó una mayor cantidad de interacciones con factores ambientales nacionales fue la presencia del dispositivo dinámico en el ecosistema.

Finalmente, se elaboró una guía de criterios ambientales que incluyó recomendaciones a nivel de gobernanza de espacios marinos e investigación en los vacíos existentes; aportándose como una línea base para eventuales desarrolladores de proyectos, agentes gubernamentales asociados, así como un insumo para la comunidad de investigación y desarrollo en una etapa crítica como lo es la planificación temprana de proyectos de energía marina en Costa Rica.

7 RECOMENDACIONES

Queda en evidencia que se deben fortalecer considerablemente los esfuerzos en Planificación Espacial Marina para lograr el adecuado desarrollo sostenible del país. Se recomienda que dichos planes involucren una ampliación de las áreas destinadas para los diferentes tipos de pesca, tránsito, turismo, conservación, así como una visión actualizada de la industrialización a la que se enfrentan los océanos, con lo cual se preparen delimitaciones claras ante un eventual proyecto de energía marina.

Para cuantificar los efectos de las colisiones de fauna marina con dispositivos de EMR, se requieren mayores esfuerzos en la definición de rutas de especies migratorias con mejor resolución, apoyados de modelaciones numéricas que permitan agilizar el proceso.

La iluminación de plataformas en turbinas eólico-marinas en Costa Rica requiere un mejor entendimiento asociado al comportamiento de atracción de las poblaciones de especies amenazadas como los murciélagos.

El nivel de desconocimiento expresado por la comunidad de investigación internacional referente al ruido generado por un dispositivo de energía marina durante la etapa de operación sugiere la necesidad otorgar atención y recursos a la respectiva caracterización temprana de los ecosistemas nacionales.

Se sugiere a la comunidad de investigación nacional, aproximar la cuantificación y proyección de escenarios de modificación de variables físicas oceanográficas por medio de modelajes numéricos, considerando variables adicionales que permitan una mejor aproximación a la realidad, por ejemplo, aquellas propias del cambio climático. A pesar de que en la actualidad no se cuenta con modelos comerciales aplicables, este tipo de estudios ayudarían a valorar el comportamiento sin necesidad de incurrir en gastos en ingeniería y despliegue de dispositivos reales.

El presente estudio concluyó que la actividad de un PrEM con mayor cantidad de interacciones con factores ambientales es la presencia del dispositivo dinámico en el ecosistema, de manera que se recomienda que el diseño de este componente incluya especial cuidado, así como las interacciones que se den en el sitio seleccionado para el proyecto, ya que este resultado lo cataloga como el principal causante de afectaciones negativas en el ambiente que le rodea.

La mayoría de estudios analizados se basan en proyectos a pequeña escala o en dispositivos individuales, por lo tanto, se debe ampliar la visión de desarrollo de la tecnología, de manera que se pueda considerar la proyección de la industria energética marina hacia despliegues de parques de mayor tamaño, para los cuales se debe analizar la magnitud, el sinergismo y la variabilidad de las interacciones estudiadas.

Se recomienda apoyar aquellas iniciativas que involucren las mediciones necesarias para abarcar los temas aquí mencionados, en el entendimiento de que es un buen momento para evaluar las condiciones iniciales del entorno marino, en busca de un adecuado manejo de la variable ambiental de frente al inherente auge de los proyectos de energía marina.

Finalmente, se sugiere utilizar la Guía de Criterios Ambientales, aportada en esta investigación, como orientación para el manejo de la variable ambiental en cuanto a riesgos e impactos ambientales asociados a la obtención de energía eléctrica a partir de energía marina en Costa Rica.

8 REFERENCIAS

- Abanades, J., Greaves, D., y Iglesias, G. (2014). Wave farm impact on the beach profile: A case study. *Coastal Engineering*, 86(36–44). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/wave-farm-impact-beach-profile>
- Adams, T., Miller, R., Aleynik, D., y Burrows, T. (2014). Offshore marine renewable energy devices as stepping stones across biogeographical boundaries. *Journal of Applied Ecology*, 51(2), 330–338. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12207>
- Alvarado, J. J. (2018). Comunicación personal.
- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., y Paaby, P. (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology*, 59(2), 829–842. <https://doi.org/10.1007/s003380050240>
- Amaral, S., Bevelhimer, M., Čada, G., Giza, D., Jacobson, P., McMahon, B., y Pracheil, B. (2015). Evaluation of Behavior and Survival of Fish Exposed to an Axial-Flow Hydrokinetic Turbine. *North American Journal of Fisheries Management*, 35(1), 97–113. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/evaluation-behavior-and-survival-fish-exposed-axial-flow-hydrokinetic-turbine>
- Aquaret. (2012). Download Images and Illustrations. Recuperado el 10 de agosto de 2017, a partir de http://www.aquaret.com/indexea3d.html?option=com_contentyview=articleid=203yItemid=344ylang=en#Animations
- Arauz, R., Bystrom, A., y Castro, M. (2014). *Establecimiento de zonificación y ordenamiento para el aprovechamiento de atún y especies afines por pesca comercial en la zona económica exclusiva del Océano Pacífico*. San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. Ley N° 6043. Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre. (2014). San José, Costa Rica.
- Ashley, M. C., Mangi, S. C., y Rodwell, L. D. (2014). The potential of offshore windfarms to act as marine protected areas - A systematic review of current evidence. *Marine Policy*, 45, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.002>
- Azau, S., y Bianchin, R. (2011). *Wind in our Sails. The coming of Europe's offshore wind energy*

- industry*. Recuperado a partir de http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/23420_Offshore_report_web.pdf
- Baldi, L. (2014). *Aprovechamiento de Energía Marina en las Zonas Marítimo Costeras de Costa Rica Delimitadas Entre la Frontera Norte y la Desembocadura del Río Barranca*. Universidad de Costa Rica Facultad. Recuperado a partir de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2658>
- Bedore, C., y Kajiura, S. (2013). Bioelectric Fields of Marine Organisms: Voltage and Frequency Contributions to Detectability by Electroreceptive Predators. *Physiological and Biochemical Zoology*, 86(3), 298–311. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/bioelectric-fields-marine-organisms-voltage-andfrequency-contributions-detectability>
- Beharie, R., y Side, J. (2012). *Acoustic Environmental Monitoring – Wello Penguin Cooling System Noise Study*. Orkney, United Kingdom. Recuperado a partir de [https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Wello EMEC System Noise Study.pdf](https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Wello%20EMEC%20System%20Noise%20Study.pdf)
- Bergstrom, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Capetillo, N., y Wilhelmsson, D. (2014). Effects of offshore wind farms on marine wildlife a generalized impact assessment. *Environmental Research Letters*, 9(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034012>
- Blanco, M. (2016). Cómo combatir la pesca ilegal. La pesca de especies en extinción y las prácticas destructivas dañan cada vez más los ecosistemas. Tomado de La Nación. Recuperado a partir de <https://www.nacion.com/opinion/foros/como-combatir-la-pesca-ilegal/4V4C67GVFNEW5F7EAXJIX2Q7AI/story/>
- Boehlert, G. W., y Gill, A. B. (2010). *Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development: a Current Synthesis*. *Oceanography* (Vol. 23). USA. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2010.46>
- BOEM. (2017). Offshore Wind Energy. Recuperado el 16 de agosto de 2017, a partir de <https://www.boem.gov/Renewable-Energy-Program/Renewable-Energy-Guide/Offshore-Wind-Energy.aspx>
- 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.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.068>

Borja, A., Elliott, M., Andersen, J. H., Berg, T., Carstensen, J., Halpern, B. S., ... Rodríguez-Ezpeleta, N. (2016). Overview of Integrative Assessment of Marine Systems: The Ecosystem Approach in Practice. *Frontiers in Marine Science*, 3(March), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00020>

Bostrom, C. (2011). Electrical Systems for Wave Energy Conversion. *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*, 104. Recuperado a partir de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:383042/FULLTEXT02.pdf>

Brito e Melo, A. (WavEC). (2013). *Costa Rica: Determinación del Potencial de Energía Marina para Generación Eléctrica*.

Brothers, J. R., y Lohmann, K. J. (2015). Evidence for geomagnetic imprinting and magnetic navigation in the natal homing of sea turtles. *Current Biology*, 25(3), 392–396. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.035>

Cajiao, M. V., Rodríguez, M., y Lobo, A. M. (2010). *Manual de Legislación Marino Costera y Pesquera de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <http://marviva.net/es/biblioteca/legislacion-ambiental/manual-legislacion-marino-costera-y-pesquera-2010-costa-rica>

Castro, R. (2016). *Assessing Wave Power for Sustainable Development in Costa Rica : Potential Role within Energy Mix and Comparative Analysis of National Energy Sources through Triple I Index*. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo.

Chacón, D., Sanchez, J., Calvo, J., y Ash, J. (2007). Manual para el manejo y la conservación de las tortugas marinas en Costa Rica; con énfasis en la operación de proyectos en playa y viveros, 98.

Chen, L., Lam, W., y Shamsuddin, A. (2013). Potential Scour for Marine Current Turbines Based on Experience of Offshore Wind Turbine. En *Paper Presented at the International Conference on Energy and Environment 2013, Putrajaya, Malaysia*. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/potential-scour-marine-current-turbines-based-experience-offshore-wind-turbine>

Comisión Interinstitucional de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica (CIZEE-CR). (2008).

Estrategia Nacional para la Gestión Integral de los Recursos Marinos y Costeros de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de http://marviva.net/sites/default/files/documentos/enm_pdf_final.pdf

Copping, A., Battey, H., Brown-Saracino, J., Massaua, M., y Smith, C. (2014). An international assessment of the environmental effects of marine energy development. *Ocean and Coastal Management*, 99(C), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.002>

Copping, A., y Hanna, L. (2016). Summary of Potential Environmental Interactions Associated with the Deployment of Marine Renewable Energy Devices. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world.* (pp. 9–24). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2016>

Copping, A., Hanna, L., Van Cleve, B., Blake, K., y Anderson, R. M. (2015). Environmental Risk Evaluation System - an Approach to Ranking Risk of Ocean Energy Development on Coastal and Estuarine Environments. *Estuaries and Coasts*, 38(1), 287–302. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9816-3>

Copping, A., Hanna, L., Whiting, J., Geerlofs, S., Grear, M., Blake, K., ... Battey, H. (2013). Environmental effects of marine energy development around the world annex IV final report. *Pacific Northwest National Laboratory*, (January), 95. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.002>

Copping, A., Hanna, L., Whiting, J., Grear, M., Blake, K., Coffey, A., ... Battey, H. (2013). *Environmental Effects of Marine Energy Development around the World - Annex IV Final Report.* Recuperado a partir de http://www1.eere.energy.gov/water/pdfs/annex_iv_report.pdf

Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., ... Masden, E. (2016a). *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world.* Recuperado a partir de <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/>

Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., ... Masden, E. (2016b). *Informe del Estado de la Ciencia 2016. Efectos ambientales del desarrollo de energía marina alrededor del mundo. Resumen Ejecutivo.* <https://doi.org/10.1787/9789264176362-es>

- Costanza, R. (1999). The ecological, economic, and social importance of the oceans. *Ecological Economics*, 31, 199–213. Recuperado a partir de papers://27281f87-3b7a-4de6-820c-ad3b64393d15/Paper/p4050
- Cruz, E., Simas, T., y Kananen, E. (2015). Discussion of the effects of underwater noise radiated by a wave energy device – Portugal. En *Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference*. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/discussion-effectsunderwater-noise-radiated-wave-energy-device-portugal>
- Diario Extra. (2016, octubre 16). ICE Y U de Roma interesados en investigar energía sobre el mar. *Nacionales*. Recuperado a partir de <http://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/312480/ice-y-u-de-roma-interesados-en-investigar-energia-sobre-el-mar>
- Díaz, Z., y Ángeles, C. (2015). Generalidades de sistemas de generación eólica marina. En *Vigésimo octava reunión internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial*. México. Recuperado a partir de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45417058/paperdef.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3AY&Expires=1503595760&Signature=rtG5i42nEGYq70PRnxIPYpHiawo%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DGeneralidades_de_energia_eolica_marin
- DONG Energy. (2006). *Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues*. *Energ*. Recuperado a partir de https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Danish_Offshore_Wind_Key_Environmental_Issues.pdf
- Dubusschere, E., de Coensel, B., Bajek, A., Botteldooren, D., Hostens, K., Vanaverbeke, J., ... Degraer, S. (2014). In Situ Mortality Experiments with Juvenile Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) in Relation to Impulsive Sound Levels Caused by Pile Driving of Windmill Foundations. *PLoS ONE*, 9(10), 1–9. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/situ-mortality-experiments-juvenile-sea-bassdicentrarchus-labrax-relation-impulsive>
- EIA, U. S. E. I. A. (2016). *International Energy Outlook 2016* (Vol. 0484(2016)). Washington, DC. United States of America. [https://doi.org/www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://doi.org/www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
- Ellison, W., Southall, B., Clark, C., y Frankel, A. (2012). New Context-Based Approach to Assess Marine Mammal Behavioral Responses to Anthropogenic Sounds. *Conservation Biology*, 26(1),

- 21–28. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/new-context-based-approach-assess-marinemammal-behavioral-responses-anthropogenic>
- EPRI (Electric Power Research Institute). (2013). EPRI Workshop on EMF and Aquatic Life. Palo Alto, California. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/epri-workshop-emf-and-aquatic-life>
- Esteban, M., y Leary, D. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.011>
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(2), 321–338. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00057-7)
- Francia, A. G. (2004). Incidencia humana sobre la anidación de tortugas marinas: Recolección de huevos y desarrollo urbano en Playa Junquillal, Guanacaste, Costa Rica., 1–19. Recuperado a partir de <http://verdiazulcr.org/wp-content/themes/VerdiAzul/pdf/JunquillalPDF.pdf>
- Fundación CIENTEC. (2000). La gran migración de aves en octubre. Recuperado el 5 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.cientec.or.cr/aves/migracion.html#1>
- Fundación MarViva. (2014). Áreas Marinas Protegidas y áreas Marinas de Pesca Responsable del Pacífico de Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.marviva.net/es/mapoteca/areas-marinas-protegidas-y-areas-marinas-de-pesca-responsable-del-pacifico-de-costa-rica>
- Fundación MarViva. (2015). Domo Térmico de Costa Rica. Recuperado el 4 de diciembre de 2017, a partir de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=e1e96b3068224246901efb03938301a3>
- Fundación MarViva. (2017). Mapoteca. Recuperado el 4 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.fundacionintal.org/>
- Gill, A. (2016). Effects of EMF on Marine Animals from Electrical Cables and Marine Renewable Energy Devices. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world.* (pp. 106–127). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-reports/environmental-issues/document/state-of-the-science-report-2016-full-report/>

- GobiernoCR. (2017). Buzos de ICE construyen arrecife artificial en fondo del mar en Playa Hermosa. Recuperado a partir de <http://gobierno.cr/buzos-de-ice-construyen-arrecife-artificial-en-fondo-del-mar-en-playa-hermosa/>
- Greaves, D., Conley, D., Magagna, D., Aires, E., Chambel Leitão, J., Witt, M., ... Marina, D. (2016). Environmental Impact Assessment: Gathering experiences from wave energy test centres in Europe. *International Journal of Marine Energy*, 14, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.02.003>
- Gutierrez, V. (2016). Control de pesca ilegal en Costa Rica. Radio Monumental.
- Haikonen, K., Sundberg, J., y Leijon, M. (2013). Characteristics of the Operational Noise from Full Scale Wave Energy Converters in the Lysekil Project: Estimation of Potential Environmental Impacts. *Energies*, 6(5)(2562-2582). <https://doi.org/10.3390/En6052562>
- Halvorsen, M., Casper, B., Woodley, C., Carlson, T., y Popper, A. (2012). Threshold for onset of injury in Chinook salmon from exposure to impulsive pile driving sounds. *PLoS ONE*, 7(6:e38968). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038968>
- Hammar, L., Eggertsen, L., Andersson, S., Ehnberg, J., Arvidsson, R., Gullström, M., y Molander, S. (2015). A Probabilistic Model for Hydrokinetic Turbine Collision Risks: Exploring Impacts on Fish. *PLoS ONE*, 10(3), 1–25. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/probabilistic-model-hydrokinetic-turbine-collision-risks-exploring-impacts-fish>.
- Hoegh-Guldberg, O., Beal, D., Chaudhry, T., Elhaj, H., Abdullat, A., Etesy, P., ... Burgener, V. (2015). Reviving the ocean economy. The case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland., Geneva.
- Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A., y Finlay, L. (2016a). *An International Vision for Ocean Energy. Version III*. Recuperado a partir de www.ocean-energy-systems.org
- Huckerby, J., Jeffrey, H., de Andres, A., y Finlay, L. (2016b). *Una visión internacional para la Energía Oceánica. Versión III*. Recuperado a partir de www.ocean-energy-systems.org
- IEA. (2016). Executive Summary. En *World Energy Outlook 2016*. (pp. 1–8). https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf

- Ingram, D., Smith, G., Bittencourt-Ferreira, C., y Smith, H. (2011). *EquiMar. Protocols for the Equitable Assessment of Marine Energy Converters* (First Edit). Edinburgh, UK.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2012). *Plan de Promoción y Desarrollo de Fuentes Renovables no Convencionales. Centro Nacional de Planificación Eléctrica (CENPE)*.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2014). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica. Periodo 2014-2035*. San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2016). *Estudio preliminar en ejecución de campañas de medición del recurso energético marino*. Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2017). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2016 - 2035*. San José, Costa Rica.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). Anexo B. Glosario de términos. *Informe de Síntesis - Cambio Climático 2001*, 27. Recuperado a partir de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. (Core-Writing-Team, R. K. Pachauri, y L. Meyer, Eds.), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- International Energy Agency (IEA). (2016). *Energy Technology Perspectives 2016*. Iea. https://doi.org/10.1787/energy_tech-2014-en
- Jiménez, J. A. (2016). *El Domo Térmico de Costa Rica. Un oasis de productividad frente a las costas del Pacífico Centroamericano. Fundación MarViva. Ambientes Marino Costeros de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Kastelein, R., van Heerden, D., Gransier, R., y Hoek, L. (2013). Behavioral Responses of a Harbor Porpoise (*Phocoena phocoena*) to Playbacks of Broadband Pile Driving Sounds. *Marine Environmental Research*, 92(206-214). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/behavioral-responses-harbor-porpoise-phocoenaphocoena-playbacks-broadband-pile-driving>
- Kempener, R., y Neumann, F. (2014). *Salinity Gradient Energy: Technology Brief 2. International*

Renewable Energy Agency (IRENA). <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1979.1151215>

Kerckhof, F., Degraer, S., Norro, A., y Rumes, B. (2011). Offshore intertidal hard substrata: a new habitat promoting non-indigenous species in the Southern North Sea: an exploratory study. *Royal Belgian Institute for Natural Sciences*, 32(0), 27–37.

Kregting, L., Elsaesser, B., Kennedy, R., Smyth, D., O’Carroll, J., y Savidge, G. (2016). Do changes in current flow as a result of arrays of tidal turbines have an effect on benthic communities? *PLoS ONE*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161279>

Lamn, W.-H., y Roy, C. B. (2014). Insights into the Ocean Health Index for marine renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.078>

Langhamer, O. (2009). *Wave energy conversion and the marine environment. Colonization patterns and habitat dynamics. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 663.

Langhamer, O. (2010). Effects of wave energy converters on the surrounding soft-bottom macrofauna (west coast of Sweden). *Marine Environmental Research*, 69(5), 374–381. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2010.01.002>

Langhamer, O. (2012). Artificial Reef Effect in relation to Offshore Renewable Energy Conversion: State of the Art. *Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1100/2012/386713>

Leeney, R. H., Greaves, D., Conley, D., y O’Hagan, A. M. (2014). Environmental Impact Assessments for wave energy developments - Learning from existing activities and informing future research priorities. *Ocean and Coastal Management*, 99(C), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.025>

Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T., y Torres-Martinez, J. (2011). *Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.* (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, ... C. von Stechow, Eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77932-2>

Lizano, O. G. (s/f). La generación de corrientes de resaca sobre las playas de Costa Rica. Algunas

- estadísticas del Organismo de Investigación Judicial. *Módulo de Información Oceanográfica (MIO) CIMAR, Universidad de Costa Rica.*, 1–17. Recuperado a partir de <http://www.miocimar.ucr.ac.cr>
- Lizano, O. G. (2016). Distribución espacio-temporal de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto alrededor del Domo Térmico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), S135–S152. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.23422>
- Lohmann, K. J., Lohmann, C. M. F., y Putman, N. F. (2007). Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology*, 210(21), 3697–3705. <https://doi.org/10.1242/jeb.001313>
- Lohmann, K. J., Putman, N. F., y Lohmann, C. M. F. (2012). The magnetic map of hatchling loggerhead sea turtles. *Current Opinion in Neurobiology*, 22(2), 336–342. Recuperado a partir de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959438811001954>
- López, I., Andreu, J., Ceballos, S., Martínez De Alegría, I., y Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 413–434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.009>
- Luderer, G., Bosetti, V., Jakob, M., Leimbach, M., Steckel, J. C., Waisman, H., y Edenhofer, O. (2012). The economics of decarbonizing the energy system-results and insights from the RECIPE model intercomparison. *Climatic Change*, 114(1), 9–37. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0105-x>
- Magagna, D., y Uihlein, A. (2015). Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. *International Journal of Marine Energy*, 11, 84–104. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.05.001>
- Makai Ocean Engineer. (2017). Submarine Cable Installation: Tools for Power , Telecom , and Seismic Cables (MakaiLay). Recuperado el 12 de abril de 2018, a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=Gg1aFmsKQgk>
- Makridis, C. (2013). Offshore wind power resource availability and prospects: A global approach. *Environmental Science and Policy*, 33, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.05.001>
- MarViva. (2013). *Marine Spatial Planning: A Guide to Concepts and Methodological Steps*. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.100>

- MarViva. (2015). *Guía de especies. Estándar de Responsabilidad Ambiental para la Comercialización de Pescado de Mar*. Costa Rica. Recuperado a partir de <http://marviva.net/es/biblioteca/guias-de-peces-e-invertebrados/estandar-de-responsabilidad-ambiental-para-la>
- MarViva, Marine Conservation Institute (MCI), International Union for Conservation of Nature (IUCN), Whale and Dolphin Conservation (WDC), y Mission Blue. (2016). *Protección y Ordenamiento del Domo de Centroamérica*. Centroamérica. Recuperado a partir de <http://marviva.net/es/biblioteca/ordenamiento-espacial-marino/proteccion-y-ordenamiento-del-domo-de-centroamerica>
- Masden, E. A., Haydon, D. T., Fox, A. D., Furness, R. W., Bullman, R., y Desholm, M. (2009). Barriers to movement: Impacts of wind farms on migrating birds. *ICES Journal of Marine Science*, 66(4), 746–753. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp031>
- McCormick, M. I., Allan, B. J. M., Harding, H., y Simpson, S. D. (2018). Boat noise impacts risk assessment in a coral reef fish but effects depend on engine type. *Scientific Reports*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22104-3>
- Méndez, V. H. (2003). *Costa Rica : historia natural*. (EUNED, Ed.). San José, Costa Rica.
- Menéndez, G. (2015). *Identificación de las causas de muerte y varamiento de tortugas marinas (chelonioidea) en la playa de La Diablica – Salinas, entre los meses de octubre de 2014 a marzo de 2015*. Recuperado a partir de <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2144>
- Meyer, A., y Huete, J. A. (2014). Conservation: Nicaragua Canal could wreak environmental ruin. *Nature News y Comment*. Recuperado a partir de <https://www.nature.com/news/conservation-nicaragua-canal-could-wreak-environmental-ruin-1.14721>
- Miklos, T., y Tello, M. E. (2007). *Planeación Prospectiva. Una estrategia para el diseño del futuro*.
- Miller, R., Hutchison, Z., Macleod, A., Burrows, M., Cook, E., Last, K., y Wilson, B. (2013). Marine renewable energy development: assessing the Benthic Footprint at multiple scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(8), 433–440. <https://doi.org/10.1890/120089>
- Mineur, F., Cook, E., Minchin, D., Bohn, K., MacLeod, A., y Maggs, C. (2012). Changing Coasts: Marine Aliens and Artificial Structures. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 50, 189–234. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/changing-coasts->

marine-aliens-%0Aand-artificial-structures

- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2015). *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030* (1 ed.). San José, Costa Rica.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 “Alberto Cañas Escalante”, 560. Recuperado a partir de [https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/cd1da1b4-868b-4f6f-bdf8-b2dee0525b76/PND 2015-2018 Alberto Cañas Escalante WEB.pdf](https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/cd1da1b4-868b-4f6f-bdf8-b2dee0525b76/PND%202015-2018%20Alberto%20Ca%C3%91as%20Escalante%20WEB.pdf)
- Mok, S. C. (2014). Turismo en el Pacífico Costarricense: un análisis de la oferta y demanda., *15*(2), 1–36. Recuperado a partir de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/dialogos/article/view/14015/15672>
- Montoya, M. (2008). Aves marinas de la Isla del Coco, Costa Rica, y su conservación. *Rev. Biol. Trop.*, *56* (2)(Agosto), 133–149. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/html/449/44920231010/>
- Mora, J. M. (2000). *Los mamíferos silvestres de Costa Rica*. Recuperado a partir de https://books.google.co.cr/books?id=4IITb9RrSFcCyprintsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepage&qyf=false
- Motk, G., Barstow, S., Kabuth, A., y Pontes, M. T. (2010). Assessing the global wave energy potential. *ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, (2008), 447–454.
- Munari, C., Rossetti, E., y Mistri, M. (2013). Shell formation in cultivated bivalves cannot be part of carbon trading systems: A study case with *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Environmental Research*, *92*, 264–267. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.10.006>
- Nachtane, M., Tarfaoui, M., El Moumen, A., y Saifaoui, D. (2017). Damage prediction of horizontal axis marine current turbines under hydrodynamic, hydrostatic and impacts loads. *Composite Structures*, *170*, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.03.015>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2010). *Large-Scale Offshore Wind Power in the United States. Assessment of Opportunities and Barriers*. United States.
- Neuweiler, F. (1978). Non-renewable Resources of the Sea. En *Charnock H., Deacon G. (eds)*

- Advances in Oceanography*. Springer, Boston, MA. Recuperado a partir de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-8273-1_10
- Nordiske Kabel og Traadfabriker (NKT). (2013). Anholt Offshore Project. Recuperado el 10 de abril de 2018, a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=PCHaYE6POkw>
- O'Hagan, A. M. (2016). Marine Spatial Planning and Marine Renewable Energy. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world*.
- O'Hagan, A. M., Huertas, C., O'Callaghan, J., y Greaves, D. (2016). Wave energy in Europe: Views on experiences and progress to date. *International Journal of Marine Energy*, 14, 180–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.09.001>
- O'Sullivan, D., Murray, D., Hayes, J., Egan, M. G., y Lewis, A. W. (2011). The Benefits of Device Level Short Term Energy Storage in Ocean Wave Energy Converters. *Energy Storage in the Emerging Era of Smart Grids*. <https://doi.org/10.5772/50570>
- Ocean Energy Europe (OEE). (2017). Europe needs ocean energy. Recuperado el 2 de diciembre de 2017, a partir de <https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/>
- Ocean Energy Forum. (2016). *Ocean Energy Strategic Roadmap: Building Ocean Energy for Europe*. Recuperado a partir de <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/frontpage/1036>
- Ocean Energy Systems (OES). (2014). *Ocean energy: review of supporting policies*. Recuperado a partir de <https://www.ocean-energy-systems.org/library/oes-technical-reports/market-policies-overview/document/policy-study-review-2014/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). (2008). Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030. *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico*, 1–15. Recuperado a partir de <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/40224072.pdf>
- Osorio, A. F., Arias-Gaviria, J., Devis-Morales, A., Acevedo, D., Velasquez, H. I., y Arango-Aramburo, S. (2016). Beyond electricity: The potential of ocean thermal energy and ocean technology ecoparks in small tropical islands. *Energy Policy*, 98, 713–724. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.008>

Parlamento Europeo y Consejo. Directiva 2014/89/UE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo., 2014 Diario oficial Unión Europea § (2014).

Poder Ejecutivo. Decreto N° 24483-MP-MAG-MIRENEM. Establecimiento de AMUM Pacífico Norte y Sur, Golfo Nicoya, Caribe Norte y Sur e Isla del Coco., 145 § (1995). San José, Costa Rica.

Poder Ejecutivo. Decreto N° 29296. Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica. (2001). San José, Costa Rica.

Poder Ejecutivo. Decreto N° 32966. Manual de instrumentos técnicos para el proceso de evaluación de impacto ambiental-Parte IV. (2006). Recuperado a partir de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTCynValor1=1ynValor2=57061ynValor3=62612ystrTipM=TC

Poder Ejecutivo. Decreto N° 36452-MINAET. Creación del Área Marina de Manejo Montes Submarinos. (2011). San José, Costa Rica.

Poder Ejecutivo. (2012). Decreto N° 35369-MINAE. Regulación de las nuevas categorías de manejo para las Áreas Marinas Protegidas , conforme al Reglamento a la Ley de Biodiversidad., 1–12.

Poder Ejecutivo. Decreto N° 38024. Reforma decreto N° 37803 “Adición y modificación al Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Decreto Ejecutivo N° 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC del 24 de mayo de 2004 y sus Reformas” (2013). San José, Costa Rica. Recuperado a partir de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_resultado_simple.aspx?param1=NERyparam2=1yparam3=FECHAyparam4=DESCyparam5=37803

Poder Ejecutivo. Decreto N° 7841. Reglamento a la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre. (2013). San José, Costa Rica. Recuperado a partir de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTCynValor1=1ynValor2=18579ynValor3=93916ystrTipM=TC

Poder Ejecutivo. Decreto N° 31849. Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). (2013). San José, Costa Rica.

Poltronieri, F., y Cabrera, J. (2016). *Impacto Ambiental y Mitigación de Daños*. San José, Costa Rica:

Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Presidencia de la República de Costa Rica. (2018). Día Mundial de los Océanos: Gobierno crea Área Marina de Manejo Bahía Santa Elena. Recuperado a partir de <https://presidencia.go.cr/comunicados/2018/06/dia-mundial-de-los-oceanos-gobierno-crea-area-marina-de-manejo-bahia-santa-elena/>

Procuraduría General de la República. (2018). Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado el 15 de junio de 2018, a partir de http://www.pgrweb.go.cr/scij/avanzada_pgr.aspx

Programa Estado de la Nación. (2017). *Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <http://estadonacion.or.cr/2017/>

Putman, N. F., Endres, C. S., Lohmann, C. M. F., y Lohmann, K. J. (2011). Longitude perception and bicoordinate magnetic maps in sea turtles. *Current Biology*, 21(6), 463–466. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.01.057>

Putman, N., Scanlan, M., Billman, E., O’Neil, J., Couture, R., Quinn, T., ... Noakes, D. (2014). An Inherited Magnetic Map Guides Ocean Navigation in Juvenile Pacific Salmon. *Current Biology*, 24(4), 446–450. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/simulating-blade-strike-fish-passing-through-marine-hydrokinetic-turbines>

Quirós, L. (2017). Tourism and Territory in Natural Protected Areas . Santa Rosa National Park: From National Monument To Conservation of the Tropical Dry Forest . Guanacaste. Conservation Area , Costa Rica Turismo Y Territorio En Áreas Naturales Protegidas , Parque Nacional. *Revista Geográfica de América Central.*, 137–183.

Radford, C. A., Stanley, J. A., Simpson, S. D., y Jeffs, A. G. (2011). Juvenile coral reef fish use sound to locate habitats. *Coral Reefs*, 30(2), 295–305. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0710-6>

REN21. (2017). *Renewables 2017 Global Status Report. Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 72). Paris, France. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.082>

Robinson, S., y Lepper, P. (2013). *Scoping study: Review of current knowledge of underwater noise emissions from wave and tidal stream energy devices*. London, UK.

Roddier, D., Cermelli, C., Aubault, A., y Weinstein, A. (2010). WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(033104).

<https://doi.org/10.1063/1.3435339>

- Rodríguez, B., Chinchilla, F., y May, L. (2002). Lista de especies, endemismo y conservación de los mamíferos de Costa Rica. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 6, 19–41. Recuperado a partir de <http://www.fundacionketo.org/PDF/Rodríguez-Herrera, B., Chinchilla F. A.Y L. J. May-Collado. 2002. Lista de especies, endemismo y conservación de los mamíferos de Costa Rica.pdf>
- Rodríguez, M. (2011). Conservando Los Recursos Marinos En Costa Rica: Áreas Marinas Protegidas Y Otras Figuras De Aprovechamiento Sostenible. *RevistaParques*.
- Rodríguez, T. (2009). *Convenios Internacionales y Ambiente: Recomendaciones para una mejor aplicación de los Convenios seleccionados en los países de la iniciativa del Corredor del Pacífico Este Tropical*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de http://marviva.net/sites/default/files/documentos/recomendaciones_convenios_y_cmar.pdf
- Rombouts, I., Beaugrand, G., Artigas, L. F., Dauvin, J. C., Gevaert, F., Goberville, E., ... Kirby, R. R. (2013). Evaluating marine ecosystem health: Case studies of indicators using direct observations and modelling methods. *Ecological Indicators*, 24, 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.001>
- Romero-Gomez, P., y Richmond, M. . (2014). Simulating blade strike on fish passing through marine hydrokinetic turbines. *Renewable Energy*, 71(401–413). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/simulating-bladestrike-fish-passing-through-marine-hydrokinetic-turbines>
- Runyon, J. (2018). AWEA Releases Underwater Footage of Block Island Wind Farm 's Artificial Reef - Renewable Energy World. Recuperado el 14 de febrero de 2018, a partir de http://www.renewableenergyworld.com/articles/2018/02/awea-releases-underwater-footage-of-block-island-wind-farm-s-artificial-reef.html?cmpid=enl_rew_wind_energy_news_2018-02-15ypwhid=dc0300a46c7f0e40485759cd34acb3707e809e6ae916678a55092e38d1a3cacfbcf94eb5
- Russell, R. (2005). *Interactions Between Migrating Birds and Offshore Oil and Gas Platforms in the Northern Gulf of Mexico: Final Report*. New Orleans, L.A. OCS Study MMS 2005-009.

- Salas, E., Ross Salazar, E., y Arias, A. (2012). *Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <http://marviva.net/es/biblioteca/ordenamiento-espacial-marino/diagnostico-de-las-areas-marinas-protégidas-y-areas-marinas>
- Salgado, A. (2018). Comunicación personal.
- Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación*. (McGraw-Hill, Ed.) (6a. ed.). D.F., México.
- Sather, N., y Copping, A. (2016). Risk to Marine Animals from Underwater Sound Generated by Marine Renewable Energy Devices. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world*. (pp. 79–93). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2016>
- Sather, N., Copping, A., Zydlewski, G., y Staines, G. (2016). Changes in Habitats Caused by Marine Renewable Energy Devices: Benthic Habitats and Reefing Patterns. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world*. Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <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/>
- Scientific American. (1978). *Oceanografía*.
- Segura, I., Vega, C., Carvajal, M., Rojas, L., Chévez, L., Fuentes, A., ... Coto, C. (2016). *Proyecto de Investigación Estudiantil : e .Wave Sistema Olamotriz de Generación Eléctrica*. Cartago, Costa Rica.
- Simas, T. (2016). Comunicación personal. Lisbon, Portugal.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente, E. y T. (MINAET). (2008). *GRUAS II: Propuesta de Ordenamiento Territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Volumen 3: Análisis de Vacíos en la Representatividad e Integridad de la biodiversidad marina y costera*. San José, Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/SINAC2007AnalisisVacioCR.pdf>
- Smyth, K., Christie, N., Burdon, D., Atkins, J. P., Barnes, R., y Elliott, M. (2015). Renewables-to-

- reefs? - Decommissioning options for the offshore wind power industry. *Marine Pollution Bulletin*, 90(1–2), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.045>
- Stiles, F., y Frank, A. (2007). *Guía de aves de Costa Rica* (3a ed.). Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.: Editorial INBio. Recuperado a partir de https://books.google.co.cr/books?id=7SZt2J6g9fUCyprintsec=frontcoveryh1=esysource=gbs_ge_summary_rycad=0#v=onepageyqyf=false
- Sun, X., Huang, D., y Wu, G. (2012). The current state of offshore wind energy technology development. *Energy*, 41(1), 298–312. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.054>
- Surfers AgainstSAS. (2009). Guidance on environmental impact assessment of offshore renewable energy development on surfing resources and recreation. Recuperado a partir de http://tethys.pnl.gov/sites/default/files/publications/Surfers_Against_Sewage_2009.pdf
- Thomsen, F., Gill, A., Kosecka, M., Andersson, M., Andre, M., Degraer, S., ... Wilson, B. (2015). *MaRVEN – Environmental Impacts of Noise, Vibrations and Electromagnetic Emissions from Marine Renewable Energy*. <https://doi.org/10.2777/272281>
- Tiron, R., Mallon, F., Dias, F., y Reynaud, E. G. (2015). The challenging life of wave energy devices at sea: A few points to consider. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1263–1272. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.105>
- TIWAG. (2017). Central Eléctrica. Una visión general de nuestras plantas de energía. Recuperado a partir de <https://www.tiwag.at/ueber-die-tiwag/kraftwerke/bestehende-kraftwerke/kraftwerkspark/>
- Tribunal Ambiental Administrativo. (2010). Manual de buenas prácticas ambientales en Costa Rica, 30. Recuperado a partir de http://www.seguridadpublica.go.cr/ministerio/gestion_ambiental/guias_y_manuales/Manual_Buenas_Practicas_Ambientales.pdf
- TU-Delft. (2017). Thermal Gradient (OTEC). Recuperado el 16 de agosto de 2017, a partir de <https://www.tudelft.nl/ocean-energy/research/thermal-gradient-otec/>
- Vallejo, S. (2013). *Generación De Energía a Partir Del Gradiente Salino Entre El Agua De Río Y De Mar Utilizando Una Celda De Electrodialisis Inversa*. Universidad Nacional de Colombia., Medellín, Colombia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3710.4408>

- Venugopal, V., Davey, T., Smith, H., Smith, G., Cavaleri, L., Prevosto, M., ... Holmes, B. (2011). *Protocols for the Equitable Assessment of Marine Energy Converters - EquiMar Deliverable Report*. (First edit). (D. Ingram, G. Smith, C. Bittencourt-Ferreira, y H. Smith, Eds.), *Resource Assessment - Wave Resource Characterisation and Site Assessment*. Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JL, United Kingdom: The Institute for Energy Systems, School of Engineering, The University of Edinburgh.
- Viehman, H., y Zydlewski, G. . (2015). Fish interaction with a commercial-scale tidal energy device in the natural environment. *Estuaries and Coasts*, 38((S1):241-252). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/fish-interactionscommercial-scale-tidal-energy-device-naturalenvironment>
- Villarreal, J. (2004). *Diversidad de aves playeras migratorias (Charadriiformes) en la Península de Nicoya, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales (OET), Costa Rica Bibliografía Nacional en Biología Tropical (BINABITROP)*.
- Walker, S., Howell, R., Hodgson, P., y Griffin, A. (2013). Tidal Energy machines: A comparative Life Cycle Assessment Study. *Engineering for the Maritime Environment*, 0902, 37. <https://doi.org/10.1177/1475090213506184>
- Washington State Department of Transportation (WSDOT). (2017). Construction Noise Impact Assessment. En *Advanced Training Manual: Biological Assessment Preparation for Transportation Projects*. Recuperado a partir de http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/448B609A-A84E-4670-811B-9BC68AAD3000/0/BA_ManualChapter7.pdf
- Waters, S., y Aggidis, G. (2016). Tidal range technologies and state of the art in review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.347>
- Whiting, J., y Copping, A. (2016). Changes in Physical Systems: Energy Removal and Changes in Flow. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world*. (pp. 94–105). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2016>
- Witt, M., Sheehan, E., Bearhop, S., Broderick, A. ., Conley, D., Cotterell, S., ... Godley, B. J. (2012). Assessing wave energy effects on biodiversity: the Wave Hub experience. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 370(1959), 502–529. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0265>
- Witt, M., Sheehan, E., Bearhop, S., Broderick, A., Conley, D., Cotterell, S., y Godley, B. (2012). Assessing wave energy effects on biodiversity: the Wave Hub experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 370(1959), 502–529. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0265>
- Woodruff, D., Cullinan, V., Copping, A., y Marshal, K. (2013). *Effects of Electromagnetic Fields on Fish and Invertebrates*. United States. Recuperado a partir de <https://tethys.pnnl.gov/publications/effects-electromagnetic-fields-fish-and-invertebrates-fy2012-progress-report>
- World Energy Council. (2016). *World Energy Resources: Marine Energy*. https://doi.org/http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf
- World Health Organization (WHO). (2016). Recomendaciones de la OMS para la conducción del trabajo de parto. *Recomendaciones de la OMS para la conducción del trabajo de parto.*, 44–52.
- Wright, G. (2015). Marine governance in an industrialised ocean: A case study of the emerging marine renewable energy industry. *Marine Policy*, 52, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.10.021>
- Yates, K. L., Schoeman, D. S., y Klein, C. J. (2015). Ocean zoning for conservation, fisheries and marine renewable energy: Assessing trade-offs and co-location opportunities. *Journal of Environmental Management*, 152, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.045>
- Yoon, J. I., Son, C. H., Baek, S. M., Ye, B. H., Kim, H. J., y Lee, H. S. (2014). Performance characteristics of a high-efficiency R717 OTEC power cycle. *Applied Thermal Engineering*, 72(2), 304–308. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.103>
- Yuan, H., Zhou, P., y Mei, N. (2015). Performance analysis of a solar-assisted OTEC cycle for power generation and fishery cold storage refrigeration. *Applied Thermal Engineering*, 90, 809–819. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.072>
- Zydlewski, G., Staines, G., Sparling, C., Masden, E., y Wood, J. (2016). Collision Risk for Animals around Tidal Turbines. En *ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects*

of marine renewable energy development around the world. (pp. 25–77). Pacific Northwest National Laboratory. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2013.07.003>

9. APÉNDICES

Apéndice 1. Metodología utilizada para establecer la figura de PrEM.

Para la definición de un Proyecto de Energía Marina (PrEM) olamotriz se tomó como referencia el diseño actual del dispositivo e.Wave, seleccionado por un grupo de investigación de la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica como el más adecuado en su tipo para Costa Rica, basado en la caracterización del recurso, y la complejidad, manufactura e instalación del dispositivo. El sistema consiste en un cuerpo flotante, cuyo movimiento alternante acciona un mecanismo de elevación de presión y propulsión de un fluido, que impulsa una turbina acoplada a un generador para producir electricidad, todo esto contemplando la colocación del dispositivo en una estructura costera, es decir impidiendo el contacto con el lecho marino (Segura *et al.*, 2016). Dichas especificaciones direccionaron la selección de un dispositivo flotante de absorción puntual. Sin embargo, no se consideró prudente asumir una ubicación costera ya que excluiría naturalmente una gran parte de riesgos ambientales, los cuales son parte del núcleo de la actual investigación. La selección de las bases del dispositivo se basó en las investigaciones de O’Sullivan *et al.*, (2011), Bostrom, (2011), y López, Andreu, Ceballos, Martínez De Alegría, y Kortabarria, (2013), en las cuales se presentan sistemas típicos flotantes con líneas de anclaje al fondo marino, manteniendo las características de plataformas que facilitan pausar la generación de electricidad mediante elevación del punto de absorción.

El PrEm eólico se definió con base en la información recopilada durante la revisión de literatura, en la cual se especifica que estos dispositivos incluyen un diseño típico de turbinas de tres aspas sobre un eje horizontal, cuyo soporte consiste en torres y cimientos utilizando el mono pilote como subestructura más común.

Por otra parte, la revisión de literatura de tecnologías para la obtención de EMR de corrientes marinas presentó una convergencia hacia las turbinas de eje horizontal, ya sea de aspas o rodeadas de un conducto maximizador de extracción de energía, e incluyendo una base con pilotes fijados al fondo marino, por lo cual esta configuración fue la seleccionada para la definición de un PrEM de corrientes marinas.

Respecto a proyectos de obtención de energía mareomotriz la literatura disponible de diseño presentó variaciones específicamente en la selección del tipo de turbina. La definición del PrEM mareomotriz se realizó según lo obtenido en la revisión de literatura realizada, en la cual los diseños actuales están frecuentemente basados en una turbina de bulbo tipo Kaplan.

La literatura referente a proyectos de EMR térmica, así como de diferenciales de salinidad es clara en que estos proyectos son convergentes en un solo diseño en el que la comunidad de Investigación y Desarrollo (I+D) todavía se encuentra en fases relativamente iniciales. El PrEM de energía térmica se consideró constituido por sistemas OTEC, y el diferencial de salinidad por sistemas tipo RED.

Un esquema que resume las tecnologías consideradas como PrEMs se presenta en la Figura A.1.1, a excepción del PrEM eólico marino que se observa en la Figura A.1.2.

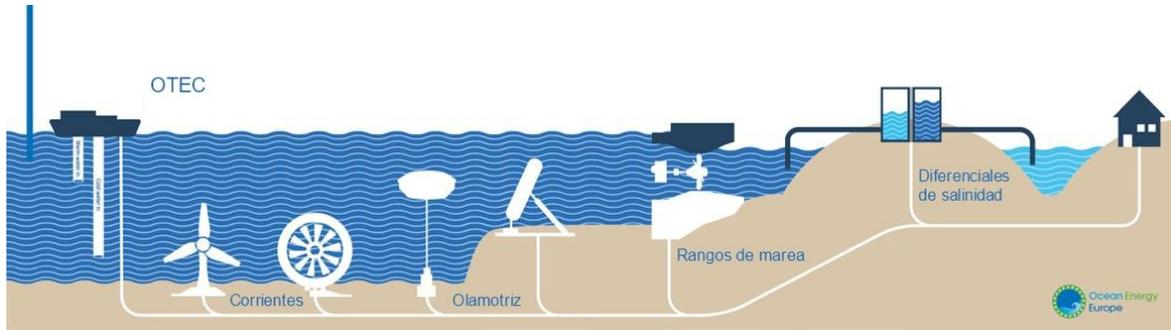


Figura A.1.1. Esquema de las 5 tecnologías principales de EMR y sus configuraciones más comunes. Fuente: Ocean Energy Europe (OEE), (2017).



Figura A.1.2. Esquema de la estructura de una torre en un PrEM eólico marino. Fuente: BOEM, (2017).

Apéndice 2. Información de partes interesadas

Cuadro A.2.1. Información de los especialistas identificados y recomendados.

Nombre	Institución	Especialidad	Detalle
Jorge Jiménez	Fundación MarViva	Ecología Marina	Director General regional. Doctorado en ecología marina. Fundación MarViva impulsa la conservación y el uso sostenible de los recursos marinos y costeros en el Pacífico Tropical Oriental.
Michelle Coffey	CRUSA	Financiamiento proyectos	Delegada Ejecutiva y de Programas. Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA) es una fundación privada, costarricense, independiente, apolítica y sin fines de lucro, que tiene dos orientaciones estratégicas esenciales: el apoyo a proyectos enmarcados en sus cuatro áreas de interés (ambiente, educación, ciencia y tecnología y capacidad estratégica), y la gestión y promoción de iniciativas de largo alcance, alianzas y redes de apoyo.
Andrea Montero Cordero (en representación de Zdenka Piskulich)	Costa Rica por Siempre	Manejo recursos naturales	Forever Costa Rica (Costa Rica por Siempre), asociación que trabaja en alianza con el Gobierno y la sociedad civil para consolidar las metas de conservación y manejo de los recursos naturales del país.
Ingo S. Wehrtmann	CIMAR	Biología marina	Dr. rer. nat. - director del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR). Especialidad: Crustáceos Decápodos, Ecología Reproductiva, Biología-Pesquera de Decápodos, Decápodos de Agua Dulce.
Omar Lizano	MIO CIMAR UCR	Oceanografía	PhD. – Coordinador de Módulo de Información Oceanográfica (MIO). Especialidad: Oceanografía Física.
Alejandro Gutiérrez Echeverría	IOI-CR UNA	Climatología marina	Director del Centro Operativo del Instituto Internacional del Océano Costa Rica (IOI-CR) adscrito a la UNA. El IOI-CR se encarga de aportar en temas de Gobernanza Oceánica, Derecho del Mar, y uso pacífico de los océanos a nivel de Latinoamérica y Caribe. Fundador del programa: “Red de Observación de Nivel del Mar en Costa Rica”- RONMAC. Investigación en procesos litorales, climatología marina, las amenazas marino-costeras, y corrientes de resaca.
Rodney Mora	MIO CIMAR UCR	Oceanografía	Especialidad en modelaciones numéricas para predicción de oleaje y climatología de viento y oleaje.
Omar Rodríguez	Consultor	Biología Marina	Biología Marina y Gestión Ambiental.
Juan José Alvarado	CIMAR, UCR	Biología Marina	PhD. – Ciencias marinas y costeras. Investigador y profesor de la Universidad de Costa Rica.
Catalina Benavides Varela	CIMAR, UCR	Sistemas de Información Geográfica	MSc. - Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Biología.

Nombre	Institución	Especialidad	Detalle
Daniel Ballesteros	Laboratorio oceanografía UNA	Oceanografía	Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero.
Georges Govaere	IMARES UCR	Ingeniería Marítima	PhD. - Coordinador General IMARES - Especialización: Ingeniería Civil, Ing. Hidráulica, e Ingeniería Marítima. Investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria en el campo de las Ingenierías.
Henry Alfaro Chavarría	IMARES UCR	Ingeniería Civil	M.Sc. – Investigador IMARES. Análisis de bases de datos de oleaje; caracterización del clima marítimo frente a infraestructuras portuarias; modelación numérica de propagación de oleaje; diseño de puertos y obras de protección; gestión de las infraestructuras portuarias y seguimiento de los impactos en el ambiente debido a la construcción de infraestructuras portuarias y costeras.
Melania Guerra	ONU	Ingeniería / Oceanografía/ Bioacústica	Experiencia en evaluación de impactos potenciales de la inserción de ruido antropogénico submarino en el hábitat acústico de especies marinas.
Alessandra Salgado	IRENA	Desarrollo tecnológico	Centro de Innovación y Tecnología de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Su trabajo es analítico e investigativo sobre patentes, desarrollos tecnológicos, estándares y aseguramiento de calidad para diferentes tecnologías de energía renovable.
Christopher Vega	e.Wave, TEC	Ingeniería Electromecánica	MSc. - Instituto Tecnológico de Costa Rica. Proyecto de Investigación Estudiantil: e.Wave Sistema Olamotriz de Generación Eléctrica.
Erik Rodríguez Ibáñez	ICE	Planificación y Desarrollo Eléctrico	Proyectos de colocación de boyas.
Rolando Portilla	ICE	Planificación y Desarrollo Eléctrico	Especialista en manejo de recursos naturales.

Apéndice 3. Herramienta de consulta a las partes interesadas

Fecha

Nombre del entrevistado

Puesto del entrevistado

Estimado (entrevistado)

Las proyecciones mundiales de producción energética sitúan la energía producida en los océanos como una fuente de energía renovable con un potencial de crecimiento considerable en los próximos años. A nivel internacional, las partes involucradas en proyectos de energía marina renovable (EMR) perciben ciertas interacciones entre los dispositivos de obtención de energía y el entorno como un riesgo. En muchos casos, dicha percepción de riesgo se debe al alto grado de incertidumbre provocado por la escasez de datos recogidos en el mar.

En Costa Rica se han realizado estudios que arrojan resultados positivos de potencial para la generación eléctrica a partir de la energía del océano, y cada vez más investigaciones se unen para caracterizar dicho recurso. En paralelo, el país avanza en la protección de sus espacios marinos con ayuda de la iniciativa de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. Sin embargo, es de gran importancia generar un precedente de evaluación de riesgos e impactos ambientales que sirva al país en una futura implementación de proyectos de energía marina. Estamos llevando a cabo una investigación para generar una línea base que aporte al manejo óptimo de la variable ambiental en cuanto a riesgos e impactos ambientales asociados a la obtención de energía eléctrica a partir de EMR en Costa Rica, estableciendo criterios ambientales que funcionen como un apoyo para las Evaluaciones de Impacto Ambiental en dichas iniciativas.

Hay un grupo de expertos vinculados no solo con la protección, sino con la correcta administración de los espacios marino costeros de Costa Rica. En ese sentido agradecemos su valiosa colaboración para responder a las siguientes preguntas. Sus respuestas serán integradas a los resultados de la investigación sobre *“Criterios ambientales para el desarrollo de proyectos de Energía Marina en Costa Rica”*

Cualquier consulta no dude en contactarnos,

Candidata Mariana Fallas Madrigal

Dr. José Rodrigo Rojas M.

Información de contacto

Proyectos Energía Marina (PrEM)

En el presente ejercicio se toma como referencia un PrEM como figura globalizadora de cada tecnología, delimitando así las especificaciones técnicas de trabajo.

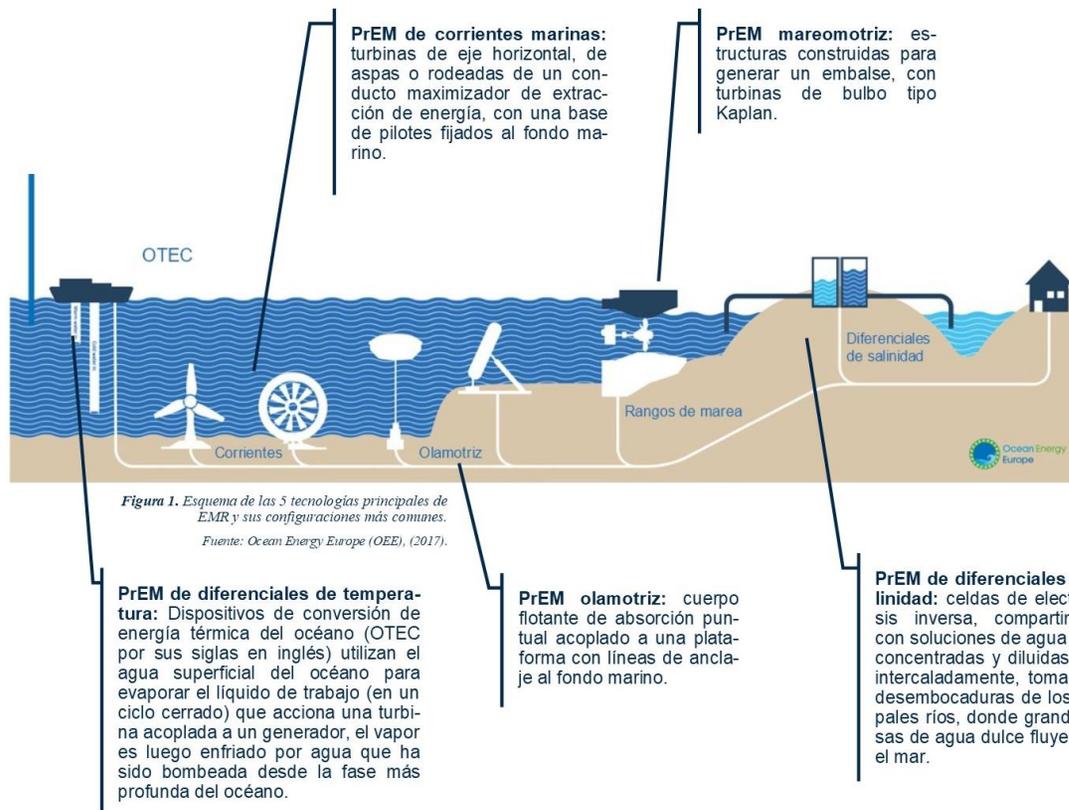


Figura 1. Esquema de las 5 tecnologías principales de EMR y sus configuraciones más comunes.
Fuente: Ocean Energy Europe (OEE), (2017).

PrEM eólico: Turbinas de tres aspas sobre un eje horizontal, cuyo soporte consiste en una torre y una subestructura de cimientos de mono pilote.



Figura 2. Esquema de la estructura de una torre en un PrEM eólico marino.
Fuente: BOEM, (2017).

Figura A.3.1. Afiche de introducción a la presentación de un PrEM.

Fecha: dd/mm/aaaa

Información del entrevistado:

La totalidad de las siguientes preguntas se plantea en el escenario hipotético del desarrollo de un proyecto de energía marina en el litoral marino costero de Costa Rica, partiendo de este caso y su área de experiencia. La entrevista será grabada con el objetivo de obtener la mayor cantidad de detalles posibles

1. ¿Cuáles áreas del litoral marino costero de Costa Rica catalogaría usted como más vulnerables en términos de ecología marina?

R/.

2. Diversas organizaciones internacionales han identificado que las colisiones de ciertas especies marinas con los dispositivos tanto estáticos (e.g. bases o cimientos) como dinámicos (e.g. turbinas) se considera uno de los mayores riesgos ambientales del tipo de proyecto en cuestión. ¿Cuáles (especies/clases/familias/demás) cuyo hábitat incluye el litoral marino costero de Costa Rica catalogaría usted como más vulnerables a este tipo de colisiones?

R/. Estáticos:

R/. Dinámicos:

3. El estado de la ciencia evidencia que el ruido generado por los dispositivos requeridos por un PrEM, presente durante la construcción y operación del proyecto, ha provocado algunas inquietudes que incluyen la afectación a los animales marinos que utilizan el sonido como mecanismo de comunicación, navegación y cacería, así como daños en los tejidos de algunas especies. ¿Cuáles (especies/clases/familias/demás) cuyo hábitat incluye el litoral marino costero de Costa Rica catalogaría usted como más vulnerables en términos de ruido submarino generado por los dispositivos?

R/.

4. La ubicación de los dispositivos de un PrEM cambiaría inevitablemente la energía del fluido en el trayecto posterior, modificando la circulación del agua, transporte de sedimentos, mezclado y erosión, y por lo tanto cambios en hábitats benthicos. ¿Cuáles áreas del litoral marino costero de Costa Rica, y/o (especies/clases/familias/demás)

cuyo hábitat comprende dicha zona, catalogaría usted como más vulnerables en términos de cambios en el medio físico por extracción de energía?

R/.

5. Los campos electromagnéticos generados cuando la energía es transmitida a través de cables han generado inquietud en cuanto a organismos marinos que utilizan aquellos naturales de la Tierra para su orientación, navegación y cacería. ¿Cuáles (especies/clases/familias/demás) cuyo hábitat incluye el litoral marino costero Costa Rica catalogaría usted como más vulnerables en términos de campos electromagnéticos asociados a los cables de evacuación eléctrica y dispositivos de captación?

R/.

6. La creación de nuevos hábitats puede ser impulsada por la introducción de infraestructura que proporcione soporte para algunas especies en áreas en las que éstas normalmente no estaban presentes y brindar conectividad entre hábitats adyacentes. Estos podrían llevar a ciertas especies al éxito, sin embargo, existe potencial de permitir que especies invasivas se movilicen a través de los hábitats. ¿Cuáles (especies/clases/familias/demás) cuyo hábitat incluye el litoral marino costero de Costa Rica catalogaría usted como más vulnerables en términos de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes?

R/.

7. ¿Según su experiencia, cuáles han sido los principales retos en **metrología** de ruido submarino generado por los dispositivos?

R/.

8. ¿Según su experiencia, cuáles han sido los principales retos en el **diseño de barreras** de ruido submarino generado por los dispositivos?

R/.

9. Sección de preguntas abiertas según la experiencia del entrevistado.

R/.

Apéndice 4. Guía de criterios ambientales

***GUIA DE CRITERIOS AMBIENTALES PARA PROYECTOS DE ENERGIA MARINA
EN COSTA RICA***

Autora: Mariana Fallas Madrigal

Junio 2018

Índice

1.	Resumen	104
2.	Aspectos generales	104
3.	Objetivos de la guía.....	106
4.	Criterios ambientales.....	106
5.	Referencias	119

1. Resumen

Se presenta una guía de criterios ambientales que incluye recomendaciones para abordar proyectos de energía marina en Costa Rica. Se proponen aproximaciones iniciales a nivel de gobernanza de espacios marinos y vacíos de investigación existentes; de manera que pueda servir como una línea base para eventuales desarrolladores de proyectos, agentes gubernamentales asociados, así como un insumo para la comunidad de investigación y desarrollo; en una etapa crítica como lo es la planificación temprana de proyectos de energía marina en Costa Rica.

2. Aspectos generales

2.1 Tecnologías para la obtención de energía marina

La producción de energía marina requiere de distintos tipos de tecnología, dado que las variaciones tanto en recursos marinos como en la ubicación se necesitan diferentes conceptos tecnológicos y soluciones (Ocean Energy Forum, 2016). Un resumen de las tecnologías investigadas compatibles con las características marino-costeras de Costa Rica comprenden, pero no se limitan a las que se muestran en la Tabla A.4.2.1. En la figura A.4.2.1 se muestran esquemas de dichas tecnologías.

Tabla A.4.2.1. Resumen de las tecnologías compatibles con las características marino-costeras de Costa Rica.

Fuente	Descripción de la tecnología
Energía de las olas (olamotriz)	Dispositivos flotantes de absorción puntual con líneas de anclaje al fondo marino.
Energía eólica marina	Turbinas de tres aspas sobre un eje horizontal, cuyo soporte consiste en torres y cimientos utilizando el mono pilote
Energía de corrientes	Turbinas de eje horizontal, ya sea de aspas o rodeadas de un conducto maximizador de extracción de energía, e incluyendo una base con pilotes fijados al fondo marino
Rangos de marea (mareomotriz)	Turbinas de bulbo tipo Kaplan insertas en estructuras de embalse.
Energía térmica	Dispositivos de conversión de energía térmica del océano que presentan como base ciclos Rankine (OTEC por sus siglas en inglés)
Diferenciales de salinidad	Sistemas de Electrodialisis Inversa (RED por sus siglas en inglés)

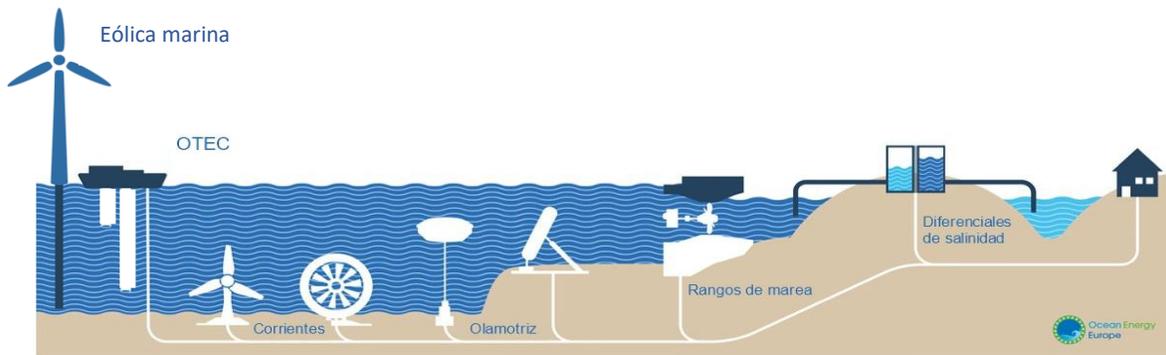


Figura A.4.2.1. Esquema de las 6 tecnologías principales de EMR y sus configuraciones más comunes. Fuente: Adaptado de Ocean Energy Europe (OEE), (2017)

2.2 Prospectiva de la variable ambiental en energía marina

Los ejercicios de prospectiva se sostienen sobre la premisa de que no sólo es factible conocer inteligentemente el futuro, sino que también es posible concebir futuros alternativos, de entre ellos seleccionar el mejor y construirlo estratégicamente (Miklos y Tello, 2007). En Costa Rica, el Plan Nacional de Energía (Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), 2015) considera que las energías renovables no convencionales (ERNC) representan una oportunidad para la diversificación de la matriz energética, que permitirá reducir las necesidades de desarrollo de las fuentes convencionales. Adicionalmente reconoce que existen diferentes grados de utilización y de conocimiento acerca de estas fuentes, por lo que se requiere planificar de manera integral su desarrollo, partiendo de la aceptación de que algunas de ellas son todavía muy poco estudiadas, por lo que se requiere mayor investigación e innovación en este tema.

De la mano con las proyecciones de la Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE) desde la presente década existe una ventana de oportunidad abierta para actuar en aquellos lugares en donde se realizarán inversiones en la construcción y en infraestructura energética en las próximas décadas, especialmente en las economías de rápido crecimiento como Costa Rica. Trabajar en asociación con las partes interesadas, incluyendo empresas, academia, sindicatos y organizaciones de la sociedad civil será vital para encontrar soluciones creativas y de bajo coste para muchos de los desafíos que se presenten.

Es entonces crucial la inserción de la variable ambiental cuando se incluye la energía marina en la planificación de energías no convencionales. Por la novedad de las tecnologías, a nivel internacional se han hallado importantes preocupaciones en cuanto a la interacción de estas tecnologías con el entorno, las cuales actualmente forman la base de una gran cantidad de estudios de organizaciones en

cooperación con Ocean Energy Systems (OES), una iniciativa de la International Energy Agency (IEA). Del mismo modo, según la OES, (2014) los reguladores y desarrolladores requieren que la industria examine, minimice y aporte medidas de manejo o mitigue los efectos ambientales potenciales, a manera de reducir los impactos ambientales residuales.

3. *Objetivos de la guía*

Aportar una línea base que sirva de guía para el manejo de la variable ambiental en cuanto a riesgos e impactos ambientales asociados a la obtención de energía eléctrica a partir de energía marina en Costa Rica.

4. *Criterios ambientales*

La evaluación de bases de datos ambientales para un sitio específico debe ser una de las principales tareas en la búsqueda de información requerida. Los factores que deben ser abordados son específicos de la ubicación, y en algunos casos específicos del dispositivo, por este motivo no es común la existencia de guías exhaustivas que indiquen los aspectos que deben considerarse (Venugopal *et al.*, 2011). Sin embargo, en esta sección se exponen los principales criterios ambientales que deben considerar tanto desarrolladores como investigadores en el desarrollo de energía marina en Costa Rica.

Se presentan tablas que contienen aquellos criterios ambientales propuestos para la evaluación de cada riesgo, diferenciando la etapa del proyecto asociada, así como las tecnologías que lo presenten. La codificación de tipo de Proyecto de Energía Marina (PrEM) que se utiliza se detalla en la Tabla A.4.4.1.

Tabla A.4.4.1. *Codificación de los tipos de Proyecto de Energía Marina (PrEM).*

Código	Tipo de PrEM
O	Olamotriz
M	Mareomotriz
C	Corrientes
E	Eólico – marino
T	Diferencial de temperatura
S	Diferencial de salinidad

Riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos

Las velocidades de corrientes marinas que se han registrado en Costa Rica no son suficientes como para que los animales marinos sean vulnerables a choques con dispositivos estáticos o dinámicos. Sin embargo, estos choques se presentan como una preocupación en el ambiente aéreo con relación a rutas de migración de aves, así como la atracción a iluminación por parte de especies como murciélagos que representan grupos de especies amenazadas.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos se resumen en la Tabla A.4.4.2.

Tabla A.4.4.2. *Criterios ambientales para evaluar el riesgo de colisión de animales contra dispositivos estáticos y dinámicos en un PrEM.*

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Operación	C, M	Las corrientes son mayores a 1 m/s (Hammar <i>et al.</i> , 2015).
Operación	O, C, M	El área del proyecto no incluye ni traslapa áreas características de peces de arrecife (Romero-Gómez y Richmond, 2014; Amaral <i>et al.</i> , 2015; Hammar <i>et al.</i> , 2015).
Operación	O, C, M	El nivel de iluminación es mayor a 0,1 lx (Hammar <i>et al.</i> , 2015; Viehman y Zydlewski, 2015).
Operación	O, C, M, E	El área del proyecto no incluye ni traslapa rutas migratorias de tortugas baula, lora, verde (Arauz, <i>et al.</i> , 2014) negra (Francia, 2004), carey (Quirós, 2017), y golfinia (Menéndez, 2015).
Operación	E	El área del proyecto no incluye ni traslapa rutas migratorias de aves marinas, incluyendo aves nocturnas (DONG Energy, 2006; NREL (2010).
Operación	E	El área del proyecto no incluye ni traslapa zonas de caza de insectos por parte de murciélagos (NREL, 2010).

Riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos

La distinción del ruido generado por un dispositivo durante la etapa de operación de un proyecto de energía marina, del ruido ambiente, ha sido complejo para los investigadores a nivel internacional, por lo cual se debe otorgar especial atención ya que las frecuencias emitidas por algunas actividades de construcción y operación de los dispositivos interfieren con aquellas que utilizan los cetáceos como medio de comunicación. Del mismo modo, las ballenas ven afectado su comportamiento de

reproducción como consecuencia del ruido ambiental. Además, las vibraciones provocadas causan barotraumas en tejidos de fauna pelágica ósea y especialmente aquellos con vejiga natatoria.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos se resumen en la Tabla A.4.4.3.

Tabla A.4.4.3. Criterios ambientales para evaluar el riesgo para la fauna marina asociado al ruido emitido por dispositivos submarinos en un PrEM.

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Construcción	E	La fuente del ruido proveniente del clavado de pilotes se ubica a más de 400 metros de las áreas características de cetáceos, pinnípedios y peces de todo tamaño (NREL, 2010; WSDOT, 2017)
Operación	C, O, M	El ruido generado por una turbina no daña los tejidos de las especies de peces presentes (Halvorsen, <i>et al.</i> , 2012).
Operación	C, O, M	La frecuencia de sonido que produce la turbina es menor que el umbral de disturbios de cetáceos, pinnípedios y peces de todo tamaño (Cruz <i>et al.</i> 2015; WSDOT, 2017; Jiménez, 2016).

Cambios en el medio físico por extracción de energía

La modificación del medio físico por extracción de energía como consecuencia de la instalación de parques principalmente olamotrices afectarían la circulación, transporte de sedimentos, mezclado y erosión en el trayecto posterior en dirección de la propagación de la ola. El escenario es incierto en tanto dicha modificación puede presentar beneficios cerca de la costa debido a la disminución de erosión y de corrientes de resaca provocadas por el oleaje; al mismo tiempo que el sector turismo de actividades recreativas como el surf vería consecuencias negativas. La cuantificación y proyección de escenarios de cambios físicos por extracción de energía son posibles de aproximar por medio de modelajes numéricos por parte de la comunidad de investigación a nivel nacional, ya que en la actualidad no se cuenta con modelos comerciales aplicables.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo de cambios en el medio físico por extracción de energía se resumen en la Tabla A.4.4.4.

Tabla A.4.4.4. Criterios ambientales para evaluar el riesgo de cambios en el medio físico por extracción de energía en un PrEM.

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no causa erosión en el lecho marino (Chen <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no altera la deposición de sedimentos (Copping <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no altera hábitats bénticos (Copping <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no altera las tasas de descargas de agua oxigenada en cuerpos de agua encerrados (Copping <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no provoca cambios en la mezcla y estratificación de la columna de agua (Copping <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O, C, E	El dispositivo estático no provoca cambios en distribución de larvas de animales planctónicos y/o semillas y propágulos de plantas marinas (Copping <i>et al.</i> , 2013).
Operación	O	El convertidor de energía olamotriz no impacta negativamente el perfil de playa (Abanades, <i>et al.</i> , 2014).
Operación	O	La magnitud de reducción del tamaño y calidad de ola no impacta negativamente actividades recreativas como el surf (Surfers Against Sewage, 2009; Leeney <i>et al.</i> , 2014; O’Hagan <i>et al.</i> 2016).

Efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos

Los organismos marinos que poseen electro- o magneto- receptores asociados a la orientación, navegación y cacería, y que son especies en peligro en aguas nacionales, son principalmente el grupo de tiburones y tortugas marinas. A su vez, los hábitats más vulnerables son los cercanos a la eventual ubicación del cable de evacuación eléctrica, es decir aquellos hábitats bentónicos u organismos que habitan cerca o directamente en el fondo marino, especialmente si son hábitats sensibles y que no se puedan movilizar.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo de efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos se resumen en la Tabla A.4.4.5.

Tabla A.4.4.5. Criterios ambientales para evaluar el riesgo de efectos sobre la fauna marina de los campos electromagnéticos en un PrEM.

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Operación	O, C, E	La red de interconexión entre el dispositivo y/o subestación y la red eléctrica continental no incluye ni traslapa rutas migratorias o de desove de tortugas baula, lora, verde, golfina ni carey (Electric Power Research Institute, EPRI, 2013; Copping y Hanna, 2016; Gill, 2016).
Operación	O, C, E	La red de interconexión entre el dispositivo y/o subestación y la red eléctrica continental no incluye ni traslapa áreas características de elasmobranquios (tiburones, rayas y mantarrayas), mamíferos marinos, crustáceos, y otros que posean electro- o magneto-receptores (Bedore y Kajiura, 2013; Putman <i>et al.</i> , 2014; Gill, 2016).
Operación	O, C, E	El campo magnético generado por los cables de la red de interconexión entre el dispositivo y/o subestación y la red eléctrica continental es menor a 30 μ T (Gill, 2016).
Operación	O, C, E	El campo eléctrico generado por los cables de la red de interconexión entre el dispositivo y/o subestación y la red eléctrica continental es menor a 1000 μ V/m o a un nivel que muestre un evidente comportamiento de evasión por parte de elasmobranquios (tiburones, rayas y mantarrayas) (Gill, 2016).
Construcción	O, C, E	La red de interconexión entre el dispositivo y/o subestación y la red eléctrica continental no incluye ni traslapa hábitats bentónicos característicos por su sensibilidad y limitada movilización (Gill, 2016).

Alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes

Las experiencias internacionales permiten asociar la creación o interconexión de hábitats, impulsada por la introducción de infraestructura con beneficios comerciales. Sin embargo, a nivel nacional se requiere una mayor investigación directamente ligada a la ubicación del proyecto, así como la distancia que lo separe de zonas con poblaciones de arrecifes ya existentes.

La escala de tiempo durante la cual la comunidad de investigación internacional ha realizado monitoreos de formación de arrecifes artificiales en proyectos de energía marina no es suficiente para permitir visualizar cambios o asegurar un equilibrio positivo con las poblaciones cercanas en mares tropicales, como el caso de Costa Rica.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo de la alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes se resumen en la A.4.4.6.

Tabla A.4.4.6. Criterios ambientales para evaluar el riesgo de la alteración de hábitats bénticos y patrones de formación de arrecifes en un PrEM.

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Operación	O, C, E	El nuevo hábitat béntico impulsado por la introducción de la infraestructura no crea condiciones para que especies invasivas adquieran un punto base que les permita moverse a través de los hábitats (Mineur <i>et al.</i> , 2012; Witt <i>et al.</i> , 2012; Miller <i>et al.</i> , 2013; Bergstrom <i>et al.</i> , 2014).
Cierre	E	En los casos que se propone un programa similar al “Rigs to Reefs”, se incorporan principios ecológicos de ingeniería, se recorta su parte superior en la medida necesaria con el fin de no dejar ningún componente de la estructura sobre el nivel del mar, y se proporcionando así un nivel aceptable para la navegación (Smyth <i>et al.</i> , 2015).

Riesgo de derrame de productos químicos

El derrame de sustancias contaminantes en medio acuoso debe ser especialmente gestionado, ya que la fauna bentónica es altamente vulnerable a un potencial derrame de sustancias químicas procedentes de pinturas anti incrustamiento, así como del fluido de trabajo de sistemas de aprovechamiento de diferenciales de temperatura como lo es OTEC.

Según la experiencia internacional hallada, su relación con las características ambientales de Costa Rica, y la opinión de especialistas nacionales, los criterios para evaluar el riesgo de derrame de productos químicos se resumen en la Tabla A.4.4.7.

Tabla A.4.4.7. Criterios ambientales para evaluar el riesgo de derrame de productos químicos en un PrEM.

Etapa	Código de PrEM que lo incluye	Criterio
Construcción	O, C, E	Los productos químicos provenientes de coberturas o pinturas en superficies exteriores utilizadas para prevenir la incrustación biológica y/o corrosión, así como productos químicos derramados en el área circundante provenientes de embarcaciones o dispositivos de energía marina defectuosos; no lixivian hacia el ambiente marino (Copping <i>et al.</i> , 2015).
Operación	T	El fluido de trabajo se maneja con un buen sistema de confinamiento (Lamn y Roy, 2014).
Operación	S	Tanto el punto de entrada como el de salida de agua no impacta negativamente zonas de recirculación ni la distribución de nutrientes en el agua (Kempener y Neumann, 2014).

Planificación Espacial Marina

Como se evidenció en la sección anterior, la ubicación de un proyecto de energía marina será un punto clave en la afectación al ambiente marino. Esto coloca a la Planificación Espacial Marina (PEM) como la herramienta de mayor utilidad para el ordenamiento en el uso de áreas marinas. En esta sección se presentan aquellas áreas de mayor interés de conservación, así como las consideraciones recomendadas para el avance de una adecuada PEM en el país.

Los vacíos de conservación en áreas marinas alcanzan valores reportados cercanos al 90% de las áreas de importancia ecológica (Alvarado *et al.*, 2011), por lo tanto, se debe fortalecer la investigación como herramienta de para la planificación espacial marina tomando como referencia el levantamiento de base de datos que incluye las áreas propuestas por la comunidad de investigación nacional, así como por organismos no gubernamentales. La Fundación MarViva (2013) establece que la gestión de las actividades humanas en el espacio marino es un esfuerzo que requiere de políticas, procesos participativos y marcos regulatorios e institucionales, sin los cuales el éxito no puede ser alcanzado. Sumado a que, en las discusiones sobre el proceso, se deben involucrar directamente a los usuarios que dependen de los recursos naturales del mar, las organizaciones ambientalistas, el sector pesquero privado, las cámaras de turismo, las organizaciones de base, las universidades, los organismos internacionales, las instituciones gubernamentales y todos aquellos actores involucrados que tienen intereses en los recursos marinos, tanto en el corto como en el largo plazo. Las Áreas Ambientalmente Frágiles no continentales, así como las Áreas de Pesca Responsable existentes en Costa Rica se observan en la Figura A.4.4.1.



Figura A.4.4.1. Mapa de la ubicación de las Áreas Marinas Protegidas de Costa Rica. Fuente: Fundación MarViva, (2014)

Sin embargo, (Alvarado *et al.*, 2011) presentan una serie de vacíos en la representatividad de la biodiversidad marina y costera en el sistema de áreas protegidas de Costa Rica y que deben ser conservados para asegurar una adecuada representatividad de los sistemas ecológicos, de las poblaciones de especies asociadas, su funcionalidad ecológica, así como la provisión continua de bienes y servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas que de ellos dependen. La ubicación de dichos vacíos se observa en la Figura A.4.4.2., así como su detalle se presenta en la Tabla A.4.4.8.

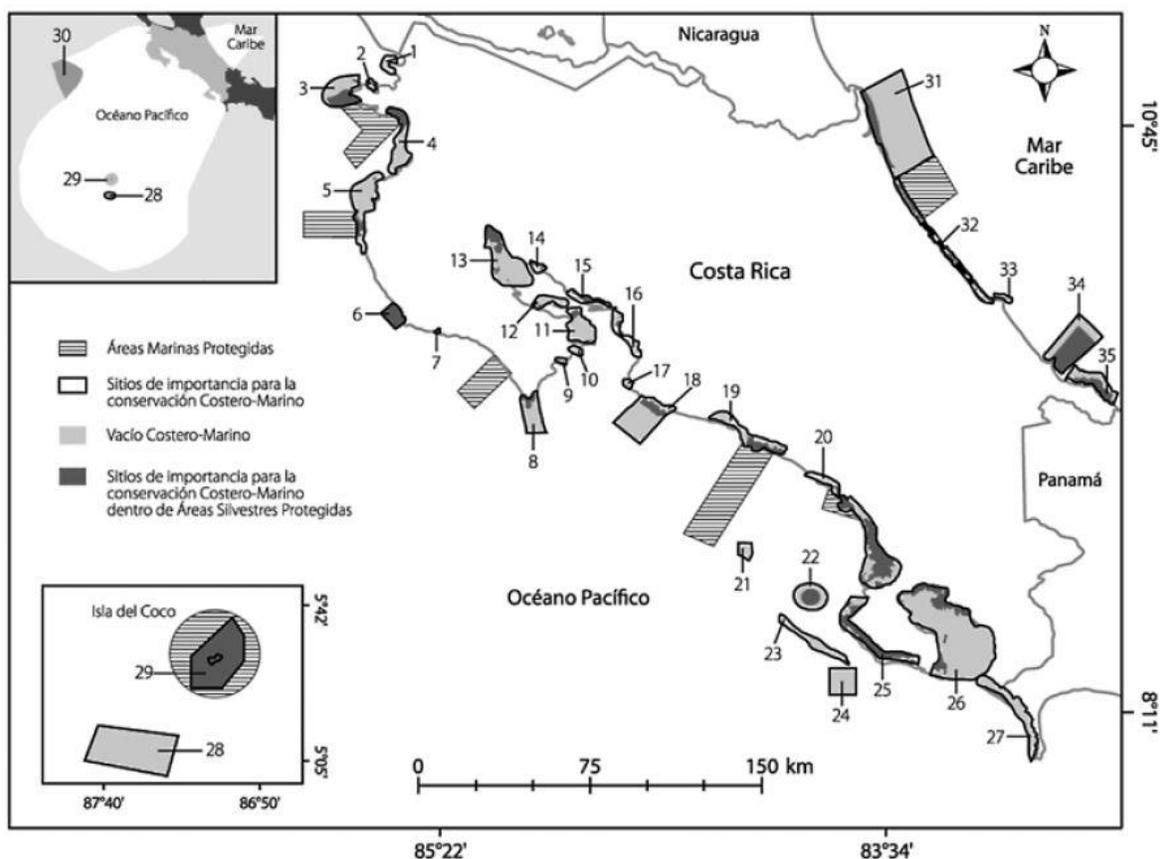


Figura A.4.4.2. Sitios propuestos por Alvarado *et al.*, (2011) para la conservación de la biodiversidad marina. El detalle de cada sitio se presenta en la Tabla A.5.1.

Tabla A.4.4.8. Detalle de los sitios propuestos por Alvarado et al., (2011) para la conservación de la biodiversidad marina.

No.	Sitio	No.	Sitio	No.	Sitio	No.	Sitio
1	Descartes	10	Curú - Islas Tortugas	19	Damas - Savegre	28	Montañas submarinas de Coco
2	Bahía Santa Elena	11	Negritos - San Lucas	20	Dominical - Sierpe	29	Isla del Coco
3	Punta Santa Elena	12	Caballo - Venado	21	Plataforma de Coronado	30	Domo térmico
4	Golfo de Papagayo	13	Chira - Tempisque	22	Isla del Caño	31	Barra del Colorado
5	Punta Gorda - Punta Pargos	14	Estero Culebra	23	Plataforma de Osa	32	Canales de Tortuguero
6	Ostional	15	Aranjuez	24	Corcovado	33	Isla Uvita
7	Punta El Indio	16	Caldera - Tárcoles	25	Montañas submarinas de Osa	34	Cahuita
8	Cabo Blanco	17	Herradura	26	Golfo Dulce	35	Gandoca
9	Punta Tambor	18	Punta Judas	27	Punta Burica		

La inserción de más zonas protegidas, así como su compatibilidad con zonas de pesca, turismo, tráfico de embarcaciones, y eventualmente energía marina, son actividades de Planificación Espacial Marina que se pueden abordar desde un enfoque preventivo utilizando herramientas de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Los objetivos de la EAE se detallan en el Decreto N° 31849 (2013) Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), de manera que se integre la variable de impacto ambiental a la planificación del desarrollo económico del país, incluyendo planes, programas y políticas de desarrollo nacional, regional y local; generados en entidades del Estado y cuyo fin sea el planeamiento del uso del suelo, el desarrollo de infraestructura, o el aprovechamiento de los recursos naturales.

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), según el Decreto N° 31849. (2013), es aquel proceso aplicado a políticas, planes y programas. Este decreto establece que, por su característica y naturaleza, el proceso se puede aplicar, además, a los proyectos de trascendencia nacional, binacional, regional centroamericano, o por acuerdos multilaterales, conforme a lo establecido en la normativa vigente. Además, en el marco del ordenamiento territorial, la EAE promoverá que se incluya la situación de fragilidad ambiental de los territorios en administración y sujetos a esa planificación; de forma tal que se garantice un desarrollo económico y social sustentable y en armonía con el ambiente.

La experiencia del sector de energía marina en Europa ha demostrado que el tema ambiental es uno de los principales retos a los que se enfrentan los desarrolladores. Esto se debe a que los entes reguladores suelen exigir monitoreos severos y costosos, tanto antes como después del proceso de consentimiento. Las autoridades regulatorias generalmente adoptan posiciones conservadoras si se hallan en incertidumbre de impactos ambientales potenciales (Magagna y Uihlein, 2015).

En relación con a la experiencia europea en la necesidad de un adecuado manejo del entorno marino, las Políticas Marinas Integradas de la Unión Europea han identificado la Planificación Espacial Marina como la principal herramienta para la certeza legal, transparencia, y por lo tanto reducción de costos en los proyectos de energía marina (Parlamento Europeo y Consejo, 2014). En el 2014 dicho parlamento estableció un marco regulatorio para la ordenación del espacio marítimo europeo. Según éste, se solicitaron como requisitos mínimos aplicables a la ordenación del espacio marítimo, los listados a continuación. Este ejemplo puede ser de gran utilidad para guiar la hoja de ruta que se establezca a la hora de atacar los vacíos legislativos referentes a la Planificación Espacial Marina a nivel nacional.

1. Establecer etapas procedimentales para contribuir a los objetivos, teniendo en cuenta las actividades y usos pertinentes en las aguas marinas.

2. Para ello:

- a) Tener en cuenta las interacciones entre tierra y mar;
- b) Tener en cuenta tanto los aspectos medioambientales, económicos y sociales como los aspectos de seguridad;
- c) Procurar promover la coherencia entre la ordenación del espacio marítimo y el plan o planes de ordenación resultantes y otros procesos como la gestión integrada de las costas o prácticas formales o informales equivalentes;
- d) Recabar la participación de los grupos de interés
- e) Organizar el uso de los mejores datos disponibles
- f) Garantizar la cooperación transfronteriza
- g) Promover la cooperación con terceros países

3. Revisión de los planes de ordenación marítima al menos cada diez años.

El gobierno de Escocia y su directiva de asuntos marinos, conocida como Marine Scotland, se encuentra a la vanguardia de los procesos de consentimiento para energía marina (O'Hagan *et al.*, 2016). Marine Scotland desarrolló un Plan Sectorial Marino en aguas escocesas para proyectos eólico – marinos, olamotrices y de corrientes, el cual tuvo como resultado un mapa con la propuesta de sitios

idóneos para cada tipo de proyecto. Este tipo de productos son de gran utilidad para guiar el manejo adecuado del territorio marino según su protección ecológica, productividad sostenible.

Factores ambientales de atención prioritaria

Los factores ambientales identificados como más vulnerables en orden de importancia se muestran resumidos en la Cuadro A.4.4.1. Las actividades de pesca se pueden ver ampliamente afectadas por la inserción de infraestructura si no existe una detallada delimitación de áreas destinadas para fines específicos, presentando importantes vacíos que repercuten en la definición de áreas de conservación y rutas de navegación, lo cual les otorga el primer nivel de vulnerabilidad.

Se recomienda realizar mayores esfuerzos por delimitar oficialmente las áreas de pesca, ya que esta actividad presenta una gran cantidad de interacciones con las actividades características de proyectos de energía marina. Esto se da durante la construcción y operación de los proyectos, por ejemplo, el traslado de materiales y colocación de líneas de cableado de evacuación eléctrica. Además, se pueden presentar constantes daños en el cableado eléctrico colocado de manera permanente, ya que algunas actividades pesqueras interactúan con el fondo marino.

Por su parte los hábitats bentónicos se encuentran en segundo nivel ya que se consideran disruptivas las modificaciones al fondo marino causadas por toda aquella inserción de infraestructura y la presencia de cables eléctricos. En el tercer nivel de relevancia se encuentra la población de tortugas marinas, ya que presenta una cantidad considerable de riesgos por colisiones, su conocido su comportamiento migratorio vulnerable a cambios en campos electromagnéticos y contaminación acústica, así como su anidación masiva en costas nacionales.

Por último, la fauna pelágica de menor tamaño se considera vulnerable a la colisión con turbinas hidrocinéticas. Sumado a esto, el ruido provocado puede causar daños en sus tejidos, y se pueden generar cambios en su comportamiento, trayendo como consecuencia la sustitución de hábitats. Este último comportamiento también se puede ver provocado por la exposición a campos electromagnéticos.

Cuadro A.4.4.1. Lista de los principales factores ambientales determinados para un PrEM en Costa Rica.

Orden de relevancia	Factor
1	Pesca
2	Hábitat bentónico
3	Tortugas marinas
4	Fauna pelágica (de menor tamaño)

La actividad de un proyecto de energía marina con mayor cantidad de interacciones con factores ambientales es la presencia del dispositivo dinámico como tal en el ecosistema, de manera que el diseño de este componente requiere especial cuidado, ya que esto lo cataloga como el principal causante de afectaciones negativas en el ambiente que le rodea.

5. *Referencias*

- Abanades, J., Greaves, D., & Iglesias, G. (2014). Wave farm impact on the beach profile: A case study. *Coastal Engineering*, 86(36–44). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/wave-farm-impact-beach-profile>
- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., & Paaby, P. (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology*, 59(2), 829–842. <https://doi.org/10.1007/s003380050240>
- Amaral, S., Bevelhimer, M., Čada, G., Giza, D., Jacobson, P., McMahon, B., & Pracheil, B. (2015). Evaluation of Behavior and Survival of Fish Exposed to an Axial-Flow Hydrokinetic Turbine. *North American Journal of Fisheries Management*, 35(1), 97–113. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/evaluation-behavior-and-survival-fish-exposed-axial-flow-hydrokinetic-turbine>
- Arauz, R., Bystrom, A., & Castro, M. (2014). Establecimiento de zonificación y ordenamiento para el aprovechamiento de atún y especies afines por pesca comercial en la zona económica exclusiva del Océano Pacífico. San José, Costa Rica.
- Bedore, C., & Kajiura, S. (2013). Bioelectric Fields of Marine Organisms: Voltage and Frequency Contributions to Detectability by Electrosensitive Predators. *Physiological and Biochemical Zoology*, 86(3), 298–311. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/bioelectric-fields-marine-organisms-voltage-and-frequency-contributions-detectability>
- Bergstrom, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Capetillo, N., & Wilhelmsson, D. (2014). Effects of offshore wind farms on marine wildlife a generalized impact assessment. *Environmental Research Letters*, 9(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034012>
- BOEM. (2017). Offshore Wind Energy. Recuperado el 16 de agosto de 2017, a partir de <https://www.boem.gov/Renewable-Energy-Program/Renewable-Energy-Guide/Offshore-Wind-Energy.aspx>
- Chen, L., Lam, W., & Shamsuddin, A. (2013). Potential Scour for Marine Current Turbines Based on Experience of Offshore Wind Turbine. En Paper Presented at the International Conference on Energy and Environment 2013, Putrajaya, Malaysia. Recuperado a partir de

<http://tethys.pnnl.gov/publications/potential-scour-marine-current-turbines-based-experience-offshore-wind-turbine>

Copping, A., & Hanna, L. (2016). Summary of Potential Environmental Interactions Associated with the Deployment of Marine Renewable Energy Devices. En ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world. (pp. 9–24). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2016>

Copping, A., Hanna, L., Van Cleve, B., Blake, K., & Anderson, R. M. (2015). Environmental Risk Evaluation System - an Approach to Ranking Risk of Ocean Energy Development on Coastal and Estuarine Environments. *Estuaries and Coasts*, 38(1), 287–302. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9816-3>

Copping, A., Hanna, L., Whiting, J., Grear, M., Blake, K., Coffey, A., ... Battey, H. (2013). Environmental Effects of Marine Energy Development around the World - Annex IV Final Report. Recuperado a partir de http://www1.eere.energy.gov/water/pdfs/annex_iv_report.pdf

Cruz, E., Simas, T., & Kasanen, E. (2015). Discussion of the effects of underwater noise radiated by a wave energy device – Portugal. En Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/discussion-effectsunderwater-noise-radiated-wave-energy-device-portugal>

DONG Energy. (2006). Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues. *Energ*. Recuperado a partir de https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Danish_Offshore_Wind_Key_Environmental_Issues.pdf

EPRI (Electric Power Research Institute). (2013). EPRI Workshop on EMF and Aquatic Life. Palo Alto, California. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/epri-workshop-emf-and-aquatic-life>

Francia, A. G. (2004). Incidencia humana sobre la anidación de tortugas marinas: Recolección de huevos y desarrollo urbano en Playa Junquillal, Guanacaste, Costa Rica., 1–19. Recuperado a partir de <http://verdiazulcr.org/wp-content/themes/VerdiAzul/pdf/JunquillalPDF.pdf>

- Fundación MarViva. (2014). Áreas Marinas Protegidas y áreas Marinas de Pesca Responsable del Pacífico de Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.marviva.net/es/mapoteca/areas-marinas-protégidas-y-areas-marinas-de-pesca-responsable-del-pacífico-de-costa-rica>
- Gill, A. (2016). Effects of EMF on Marine Animals from Electrical Cables and Marine Renewable Energy Devices. En ANNEX IV: State of the Science Report 2016. Environmental effects of marine renewable energy development around the world. (pp. 106–127). Pacific Northwest National Laboratory. Recuperado a partir de <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-reports/environmental-issues/document/state-of-the-science-report-2016-full-report/>
- Halvorsen, M., Casper, B., Woodley, C., Carlson, T., & Popper, A. (2012). Threshold for onset of injury in Chinook salmon from exposure to impulsive pile driving sounds. *PLoS ONE*, 7(6:e38968). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038968>
- Hammar, L., Eggertsen, L., Andersson, S., Ehnberg, J., Arvidsson, R., Gullström, M., & Molander, S. (2015). A Probabilistic Model for Hydrokinetic Turbine Collision Risks: Exploring Impacts on Fish. *PLoS ONE*, 10(3), 1–25. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/probabilistic-model-hydrokinetic-turbine-collision-risks-exploring-impacts-fish>.
- Jiménez, J. A. (2016). El Domo Térmico de Costa Rica. Un oasis de productividad frente a las costas del Pacífico Centroamericano. Fundación MarViva. Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Kempener, R., & Neumann, F. (2014). Salinity Gradient Energy: Technology Brief 2. International Renewable Energy Agency (IRENA). <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1979.1151215>
- Lamn, W.-H., & Roy, C. B. (2014). Insights into the Ocean Health Index for marine renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.078>
- Leeney, R. H., Greaves, D., Conley, D., & O'Hagan, A. M. (2014). Environmental Impact Assessments for wave energy developments - Learning from existing activities and informing future research priorities. *Ocean and Coastal Management*, 99(C), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.05.025>

- Magagna, D., & Uihlein, A. (2015). Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. *International Journal of Marine Energy*, 11, 84–104. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.05.001>
- MarViva. (2013). *Marine Spatial Planning: A Guide to Concepts and Methodological Steps*. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.100>
- Menéndez, G. (2015). Identificación de las causas de muerte y varamiento de tortugas marinas (chelonioides) en la playa de La Diablica – Salinas, entre los meses de octubre de 2014 a marzo de 2015. Recuperado a partir de <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2144>
- Miklos, T., & Tello, M. E. (2007). *Planeación Prospectiva. Una estrategia para el diseño del futuro*.
- Miller, R., Hutchison, Z., Macleod, A., Burrows, M., Cook, E., Last, K., & Wilson, B. (2013). Marine renewable energy development: assessing the Benthic Footprint at multiple scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(8), 433–440. <https://doi.org/10.1890/120089>
- Mineur, F., Cook, E., Minchin, D., Bohn, K., MacLeod, A., & Maggs, C. (2012). Changing Coasts: Marine Aliens and Artificial Structures. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 50, 189–234. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/changing-coasts-marine-aliens-%0Aand-artificial-structures>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2015). *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030* (1 ed.). San José, Costa Rica.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2010). *Large-Scale Offshore Wind Power in the United States. Assessment of Opportunities and Barriers*. United States.
- O’Hagan, A. M., Huertas, C., O’Callaghan, J., & Greaves, D. (2016). Wave energy in Europe: Views on experiences and progress to date. *International Journal of Marine Energy*, 14, 180–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.09.001>
- Ocean Energy Europe (OEE). (2017). *Europe needs ocean energy*. Recuperado el 2 de diciembre de 2017, a partir de <https://www.oceanenergy-europe.eu/ocean-energy/>
- Ocean Energy Forum. (2016). *Ocean Energy Strategic Roadmap: Building Ocean Energy for Europe*. Recuperado a partir de <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/frontpage/1036>

- Ocean Energy Systems (OES). (2014). Ocean energy: review of supporting policies. Recuperado a partir de <https://www.ocean-energy-systems.org/library/oes-technical-reports/market-policies-overview/document/policy-study-review-2014/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). (2008). Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 1–15. Recuperado a partir de <http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/40224072.pdf>
- Parlamento Europeo y Consejo. Directiva 2014/89/UE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo., 2014 Diario oficial Unión Europea § (2014).
- Poder Ejecutivo. Decreto No 31849. Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). (2013). San José, Costa Rica.
- Putman, N., Scanlan, M., Billman, E., O’Neil, J., Couture, R., Quinn, T., ... Noakes, D. (2014). An Inherited Magnetic Map Guides Ocean Navigation in Juvenile Pacific Salmon. *Current Biology*, 24(4), 446–450. Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/simulating-blade-strike-fish-passing-through-marine-hydrokinetic-turbines>
- Quirós, L. (2017). Tourism and Territory in Natural Protected Areas . Santa Rosa National Park: From National Monument To Conservation of the Tropical Dry Forest . Guanacaste. Conservation Area , Costa Rica Turismo Y Territorio En Áreas Naturales Protegidas , Parque Nacional. *Revista Geográfica de América Central*, 137–183.
- Romero-Gomez, P., & Richmond, M. . (2014). Simulating blade strike on fish passing through marine hydrokinetic turbines. *Renewable Energy*, 71(401–413). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/simulating-bladestrike-fish-passing-through-marine-hydrokinetic-turbines>
- Smyth, K., Christie, N., Burdon, D., Atkins, J. P., Barnes, R., & Elliott, M. (2015). Renewables-to-reefs? - Decommissioning options for the offshore wind power industry. *Marine Pollution Bulletin*, 90(1–2), 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.045>

- Surfers AgainstSAS. (2009). Guidance on environmental impact assessment of offshore renewable energy development on surfing resources and recreation. Recuperado a partir de http://tethys.pnl.gov/sites/default/files/publications/Surfers_Against_Sewage_2009.pdf
- Venugopal, V., Davey, T., Smith, H., Smith, G., Cavaleri, L., Prevosto, M., ... Holmes, B. (2011). Protocols for the Equitable Assessment of Marine Energy Converters - EquiMar Deliverable Report. (First edit). (D. Ingram, G. Smith, C. Bittencourt-Ferreira, & H. Smith, Eds.), Resource Assessment - Wave Resource Characterisation and Site Assessment. Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JL, United Kingdom: The Institute for Energy Systems, School of Engineering, The University of Edinburgh.
- Viehman, H., & Zydlewski, G. . (2015). Fish interaction with a commercial-scale tidal energy device in the natural environment. *Estuaries and Coasts*, 38((S1):241-252). Recuperado a partir de <http://tethys.pnnl.gov/publications/fish-interactionscommercial-scale-tidal-energy-device-naturalenvironment>
- Washington State Department of Transportation (WSDOT). (2017). Construction Noise Impact Assessment. En *Advanced Training Manual: Biological Assessment Preparation for Transportation Projects*. Recuperado a partir de http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/448B609A-A84E-4670-811B-9BC68AAD3000/0/BA_ManualChapter7.pdf
- Witt, M., Sheehan, E., Bearhop, S., Broderick, A., Conley, D., Cotterell, S., & Godley, B. (2012). Assessing wave energy effects on biodiversity: the Wave Hub experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 370(1959), 502–529. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0265>