



Gobierno Regional
Región de Valparaíso



25 de julio, 2016

Estrategia Energética para el Desarrollo de la Energía Marina en Comunidades Costeras e Insulares de la Región de Valparaíso

Proyecto FIC Energías Marinas



Índice de Contenidos

Índice de figuras	4
Resumen Ejecutivo	11
Introducción	12
Capítulo 1: Diagnóstico de los sistemas eléctricos.....	14
1.1 Componente 1: Levantamiento de necesidades energéticas	14
1.2 Componente 2: Balance energético	15
1.2.1 Sector continental (Sistema Interconectado Central).....	15
1.2.2 Isla Robinson Crusoe (Sistema eléctrico San Juan Bautista)	18
1.2.3 Isla de Pascua (central Mataverí)	20
1.3 Conclusiones del Capítulo 1: Diagnóstico de los sistemas eléctricos.....	22
Capítulo 2: Desarrollo y caracterización de sitios compatibles.....	23
2.1 Desarrollo de sitios.....	23
2.2 Componente 3: Evaluación recurso energético del oleaje Isla de Pascua y Robinson Crusoe 24	
2.2.1 Isla Robinson Crusoe	25
2.2.2 Isla de Pascua	26
2.3 Conclusiones componente 3: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua y Robinson Crusoe.....	27
2.4 Componente 4: Caracterización de Sitios y Análisis Económico	29
2.4.1 Zonificación y áreas protegidas.....	29
2.4.1.1 Isla Robinson Crusoe	29
2.4.1.2 Isla de Pascua	30
2.4.2 Conexión a la red y consumo	31
2.4.2.1 Isla Robinson Crusoe	31
2.4.2.2 Isla de Pascua	34
2.4.3 Acceso a infraestructura de apoyo y logística.....	36
2.4.3.1 Isla Robinson Crusoe	36
2.4.3.2 Isla de Pascua	37
2.4.4 Concesiones marinas.....	39
2.4.5 Conflictos por otros usos.....	40
2.4.6 Trabajo con <i>stakeholders</i>	40
2.4.7 Análisis económico.....	40

2.4.7.1 Resultados Isla Robinson Crusoe.....	41
2.4.7.2 Resultados Isla de Pascua.....	42
2.4.8 Cadena de suministro.....	43
2.4.9 Conclusiones del Capítulo 2: Desarrollo y caracterización de sitios compatibles.....	43
Conclusiones del proyecto	45
Referencias.....	46
Anexos.....	48

Índice de figuras

Figura 1. Composición de la distribución de energía eléctrica en sector continental de la V Región. (Fuente: INE Valparaíso, 2015).....	16
Figura 2. Composición de la generación de energía, por tipo de tecnología, en el sector continental de la V Región. (Fuente: SEREMI de Energía V Región).....	16
Figura 3. Capacidad instalada por tipo de tecnología en el sector continental de la V Región.(Fuente: SEREMI de Energía V Región)	17
Figura 4. Capacidad instalada por comuna en el sector continental de la V Región. (Fuente: SEREMI de energía V Región)	17
Figura 5. Balance entre oferta y demanda para el sector continental de la V Región. (Fuente: Elaboración propia).....	18
Figura 6. Balance entre oferta y demanda para la Isla Robinson Crusoe. (Fuente: Elaboración propia)	19
Figura 7. Balance de oferta y demanda de energía eléctrica en la Isla de Pascua al año 2030 [MWh] (Fuente: Elaboración propia).....	21
Figura 8. Potencia y dirección media en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).	25
Figura 9. Sitios de interés en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).	26
Figura 10. Potencia y dirección media en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).	27
Figura 11. Sitios de interés en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).....	27
Figura 12. Potencia media anual de energía por país [kW/m] (Fuente: elaboración propia).	28
Figura 13. Ubicación de los sitios de interés en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).	28
Figura 14. Ubicación de los sitios de interés en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).	29
Figura 15. Mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla Robinson Crusoe (Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso).	30
Figura 16. Mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla de Pascua (Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso).....	30
Figura 17. Sitios restantes en Isla Robinson Crusoe y Pascua luego del análisis de zonificación (Fuente: elaboración propia).	31
Figura 18. Conjunto de mapas de referencia, Robinson Crusoe (Fuente: elaboración propia en base a distintas fuentes).....	32
Figura 19. Plan de manejo parque nacional Archipiélago Juan Fernández (Fuente CONAF).	33
Figura 20. Plan de manejo parque nacional Archipiélago Juan Fernández (Fuente CONAF).	33
Figura 21. Parques marinos Archipiélago Juan Fernández (Fuente: Ministerio del Medio Ambiente).	34
Figura 22. Diagrama de la red eléctrica de la Isla de Pascua (Fuente: SASIPA).	35

Figura 23. Áreas que comprenden el parque nacional de Isla de Pascua (Fuente: CONAF).....	35
Figura 24. Sitios restantes luego del análisis de conexión (Fuente: elaboración propia).....	36
Figura 25. Vista aérea del muelle y la caleta de Bahía Cumberland (Fuente: Google Earth)	37
Figura 26. Vista aérea de las caletas Hanga-Roa y Hanga-Piko (Fuente: Google Earth).....	38
Figura 27. Listado de concesiones marinas otorgadas a la FACH en Isla de Pascua (Fuente: Anexo 4A, SHOA)	39

Glosario

El presente glosario del mercado eléctrico chileno puede ser muy útil para el lector, por cuanto facilita la comprensión de este informe y sus anexos.

Central térmica:

Central que genera energía mediante la combustión de algún combustible (carbón, gas, petróleo diesel).

Central de embalse:

Central hidroeléctrica capaz de acumular agua en un embalse. Esto permite almacenar energía en forma de agua para ser utilizada en el momento más propicio para generar electricidad.

Central de pasada:

Central hidroeléctrica desvía de manera directa una fracción del caudal a una turbina y restituye el flujo a continuación. En consecuencia, no tiene capacidad de almacenar energía.

Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC):

Organismo encargado de coordinar y determinar la operación de las instalaciones del sistema eléctrico, incluyendo centrales generadoras, líneas y subestaciones del sistema de transmisión, y barras de consumo de clientes libres. Existen dos CDEC: el CDEC-SIC y el CDEC-SING, los que coordinan los respectivos sistemas interconectados (ver SIC y SING).

Clientes libres:

Clientes cuya potencia conectada es de al menos 500 kW. Los clientes libres negocian libremente los precios de electricidad con las generadoras y fijan las condiciones mediante contratos de suministro.

Clientes regulados:

Clientes cuya potencia conectada es inferior a 500 kW. Los precios de los clientes regulados se fijan mediante los decretos de precio de nudo que emite la CNE. A los clientes abastecidos por una empresa de distribución (p. ej. cliente residencial), la distribuidora les traspasa el precio de nudo (precio al que compró la energía) y adiciona el VAD (cargo que cubre los servicios de distribución). Los clientes cuya potencia conectada esté entre 500 y 2.000 kW pueden optar a ser clientes regulados.

Comisión Nacional de Energía (CNE):

Organismo público, dependiente del Ministerio de Minería, responsable de los planes, políticas y normas relacionadas con el mercado energético chileno, así como el encargado de velar por el cumplimiento de las mismas.

Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA):

Organismo público responsable de proponer políticas ambientales, así como velar por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Está a cargo de la administración del SEIA.

Costo de operación, mantenimiento y administración (COMA):

Concepto utilizado en materias de transmisión para definir la remuneración que recibe el transmisor por estos conceptos.

Costo marginal de la energía:

Costo que supone generar una unidad adicional de energía, expresado en US\$/MWh. Como éste depende de las unidades generadoras, las que se despachan en orden creciente según su costo marginal individual, el costo marginal del sistema es creciente en función de la energía.

Consumer Price Index (CPI):

Medida de la inflación, equivalente inglés del IPC. En las licitaciones de energía, el CPI de Estados Unidos es uno de los parámetros que definen los precios.

Declaración de Impacto Ambiental (DIA):

Documento mediante el cual el titular describe la actividad o proyecto que pretende realizar, para que la CONAMA evalúe que cumple con todas las normas ambientales. Las centrales eólicas habitualmente se presentan mediante DIA.

Energías Renovables No Convencionales (ERNC):

Combinación de fuentes de energía primaria renovable con tecnologías que tienen un bajo impacto ambiental y que no están presentes de manera importante en los mercados eléctricos nacionales. Internacionalmente se les conoce como “nuevas energías limpias”.

Estudio de Impacto Ambiental (EIA):

Documento mediante el cual el titular describe la actividad o proyecto que pretende realizar, cuya complejidad o impacto hacen necesarios estudios para fundamentar los impactos ambientales declarados. El EIA también describe las acciones de mitigación ambiental que contempla el proyecto.

Factor de planta o factor de carga:

Indicador del grado de utilización de una central de generación eléctrica. Se calcula como la energía generada por la unidad dividida en la energía máxima que podría entregar la misma funcionando a plena capacidad durante el período considerado, habitualmente de un año.

Gases de efecto invernadero (GEI):

Gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Entre los más importantes se cuenta el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄). El hexafluoruro de azufre (SF₆), utilizado como aislante en equipos eléctricos tales como interruptores o subestaciones aisladas en gas (GIS, por sus siglas en inglés), es de los más potentes en cuanto a su efecto invernadero (unas 20.000 veces más que el CO₂), pero por las escasas cantidades que se liberan a la atmósfera, su aporte global es casi insignificante.

Gas Natural Licuado (GNL):

Gas natural que ha sido enfriado hasta el punto en que pasa al estado líquido. La licuefacción reduce drásticamente el volumen, facilitando el transporte y almacenamiento del gas natural. Este

es el proceso que permite la importación de GNL en barcos para consumo doméstico. Los terminales de Quintero y Mejillones permiten por un lado almacenar el GNL que traen los barcos, y luego regasificar el GNL para su transporte mediante gasoductos.

Gigawatt (GW):

Abreviado GW, es una unidad de potencia de gran magnitud, utilizada para hablar de sistemas interconectados o de centrales de generación eléctrica de gran tamaño (de un tamaño que no hay en Chile). Quiere decir “Mil millones de watts”. Ver watt.

Gigawatt hora (GWh):

Unidad de medida de la energía, equivalente a la energía desarrollada (generada o consumida) por 1 GW de potencia durante una hora.

Ley Corta I:

Ley Nº 19.940 del 13 de Marzo de 2004, cuyo objetivo principal es el regular la toma de decisiones y desarrollo de la expansión de la transmisión de electricidad.

Ley Corta II:

Ley Nº 20.018 del 19 de Mayo de 2005, cuyo objetivo principal es estimular el desarrollo de inversiones en el segmento de generación a través de licitaciones de suministro realizadas por las empresas de distribución.

Licitaciones de suministro:

Licitaciones que las empresas de distribución deben realizar para abastecer los consumos regulados ubicados en su zona de concesión, de manera que éstas puedan satisfacer el consumo proyectado.

Margen de reserva:

Capacidad en exceso instalada de un sistema eléctrico. Se calcula la diferencia entre la capacidad instalada y la demanda máxima. El margen de reserva da seguridad al sistema porque permite sortear la salida de centrales por mantención o falla.

Megawatt (MW):

Unidad de medida de potencia. Quiere decir “Un millón de watts” (ver **watt**). Habitualmente se habla de la potencia de las centrales, sin embargo la energía (GWh) que éstas efectivamente generen dependerá de su factor de planta (ver Gigawatt-hora).

Megawatt-hora (MWh):

Unidad de energía, equivalente a la energía consumida un Megawatt de potencia en el transcurso de una hora.

Mercado spot:

Mercado en el que se transa energía y potencia al precio marginal que el CDEC calcula a intervalos horarios. Las transacciones se llevan a cabo entre generadoras o entre éstas y clientes libres.

Panel de Expertos:

Es un órgano integrado por profesionales expertos, cuya función es pronunciarse, mediante dictámenes de efecto vinculante, sobre discrepancias y conflictos que se susciten con motivo de la aplicación de la legislación eléctrica y que empresas del sector sometan a su decisión.

Peaje:

Corresponde al pago que tiene derecho a recibir el propietario de instalaciones, ya sea de transmisión o de distribución, por parte de quien hace uso de las mismas.

Pequeño Medio de Generación Distribuida (PMGD):

Central de generación eléctrica de hasta 9 MW de potencia que se conecta directamente a instalaciones de distribución, y que cuenta con algunos incentivos establecidos en la Ley Corta II.

Plan de obras:

Programa indicativo que utiliza semestralmente la CNE en la fijación de precio de nudo. Se elabora proyectando la demanda de potencia de punta y de energía del sistema eléctrico para los siguientes diez años y minimizando el costo de abastecimiento. No es vinculante para la construcción de obras.

Potencia firme:

Cantidad de potencia que se le reconoce a las centrales generadoras considerando la disponibilidad técnica de sus instalaciones (fallas, mantenimientos, etc.) y la disponibilidad del insumo primario de generación que ésta utiliza (disponibilidad limitada de agua, viento, etc.). La potencia firme (MW), multiplicada por el precio de la potencia, constituye el ingreso por potencia de una central.

Power Purchase Agreements (PPA):

O en castellano Acuerdos de Adquisición de Potencia, pero suele utilizarse la sigla en inglés. Corresponden a un contrato de “compra” de la electricidad generada por una planta o central generadora, por parte de un tercero: un cliente (regulado o no regulado) u otra empresa generadora.

Precio de nudo:

Precio máximo aplicable al suministro de electricidad de clientes regulados, considerando el costo de generación y transporte, sin considerar la distribución. El precio nudo es el que fija la autoridad o el que resulta de los procesos de licitación de suministro de clientes regulados.

Resolución de Calificación Ambiental (RCA):

Pronunciamiento oficial de la autoridad ambiental que establece la conformidad o no conformidad de un proyecto sometido al SEIA y que establece condiciones de funcionamiento. El titular debe contar con una RCA favorable previo al inicio del proyecto. Ver Legislación ambiental e indígena

Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA):

Procedimiento que vinculan al titular de un proyecto o actividad con la autoridad ambiental a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). El titular presenta todos los antecedentes del proyecto para demostrar que el proyecto cumple con

las normas ambientales y que se hace cargo de los impactos ambientales que genera, lo cual es verificado por la autoridad ambiental. Ver Legislación ambiental e indígena

Sistema Interconectado Central (SIC):

Sistema eléctrico que se extiende entre las localidades de Taltal y Chiloé, que corresponde al sistema eléctrico de mayor tamaño en el país, en el cual las centrales hidroeléctricas constituyen la principal fuente de generación.

Sistema Interconectado del Norte Grande (SING):

Sistema eléctrico que se extiende entre las ciudades de Arica y Antofagasta, cuya capacidad instalada es casi 100% térmica y en el que destaca una importante presencia de consumos dedicados a la minería.

Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC):

Organismo encargado de fiscalizar el cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas técnicas en el ámbito de combustibles líquidos, gas y electricidad.

Valor Agregado de Distribución (VAD):

El valor agregado por concepto de costos de distribución se determina en base de una empresa modelo teórica. Considera los costos fijos de administración, las pérdidas y las inversiones en infraestructura, considerando la respectiva mantención y operación.

Valor Nuevo de Reemplazo (VNR):

Es el costo de renovar obras o bienes físicos destinados a prestar el mismo servicio que las instalaciones a reemplazar, pero con tecnología y precios actuales. Se utiliza para valorizar las inversiones y las rentas que deben generar las mismas, sobre todo en materia de transmisión y distribución.

Watt (W):

Unidad básica de potencia en el Sistema Internacional, equivalente a 1 joule/segundo, o en su forma esencial, $1 \text{ [kg]}\cdot\text{[m}^2\text{]}/\text{[s}^2\text{]}$

(Central Energía, sitio web: www.centralenergía.cl/biblioteca/glosario-mercado-eléctrico)

Resumen Ejecutivo

En el presente proyecto se propuso el desafío de identificar oportunidades para el desarrollo de las energías marinas en la región de Valparaíso, particularmente a través de la selección de un sitio compatible con la instalación de un sistema de energización undimotriz o “energía de las olas”, que sea factible tanto económica como técnicamente.

Se comenzó con un levantamiento de necesidades y un balance energético (oferta v/s demanda), con la intención de determinar brechas tanto en la calidad del suministro como en la disponibilidad del mismo, considerando tanto el sector continental como los sectores insulares de la región de Valparaíso. Este análisis permitió concluir que las principales oportunidades para el desarrollo de un proyecto de energía marina se presentan en los sectores insulares, particularmente en las Islas Robinson Crusoe y Pascua, debido a que las necesidades energéticas no están cubiertas del todo con los sistemas actuales y además tienen un alto costo de la energía (COE) de 478 y 440 [USD/MWh] respectivamente, lo que resulta económicamente atractivo. Además, la posibilidad de desplazar la generación diésel que resulta ser costosa, contaminante y representa un riesgo medio ambiental latente (frente a un derrame), agrega valor al proyecto y lo hace más factible. Finalmente, la implementación de un sistema undimotriz les otorgaría mayor autonomía y posibilidades de desarrollo económico a los habitantes de las islas.

Considerando lo expuesto anteriormente, se realizó un estudio del potencial energético del oleaje en ambos sectores insulares mencionados con la intención de caracterizar el recurso. Este estudio permitió identificar tres sitios con un recurso excepcional para cada isla, los cuales fueron sometidos a un proceso de desarrollo de sitios bajo una metodología que aborda diversos aspectos tales como zonificación y áreas protegidas, conexión a la red, acceso a infraestructura de apoyo y logística, permisos y concesiones, conflictos por otros usos y trabajo con *stakeholders*. Los resultados de dicho análisis muestran que para el caso de Robinson Crusoe existen dos sitios técnicamente compatibles, sin embargo el principal desafío sería conducir la energía desde aquellos sitios hasta el punto de consumo. Por otro lado, en la Isla de Pascua se identificó un sitio bastante atractivo que reúne todas las condiciones para albergar un proyecto de esta índole.

Con respecto al análisis económico, se desarrolló un caso de estudio que demuestra la factibilidad de un proyecto undimotriz en estos sitios, el cual muestra que el LCOE de un proyecto de esta índole sería inferior al costo de la energía actual de las islas, lo que permitiría generar un beneficio económico para el Estado y para los habitantes. Así mismo, existirían beneficios ambientales asociados al proyecto debido al desplazamiento del diésel y a la reducción de las emisiones de CO₂, así como también beneficios sociales derivados de la creación de empleos y el aumento de la autonomía de los habitantes de la isla.

Por último, para el sector continental se realizó un estudio complementario que analiza la compatibilidad de la zonificación con posibles proyectos de energía marina, se estableció un diagrama de flujo con todos los requerimientos para solicitar una concesión marina y se desarrolló un catastro de actores que presentan capacidades o bien están interesados en formar parte de la cadena de suministros para abastecer a una industria local de las energías marinas.

Introducción

En los últimos años la implementación de proyectos de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) ha tenido un crecimiento explosivo en Chile, siendo el sector que se llevó la mayor parte de la Inversión Extranjera Directa (IED) en 2015, además de representar el 76% de la cartera de nuevos proyectos energéticos del país [Memoria Anual Ministerio de Energía, 2015]. Dichos proyectos renovables se centran principalmente en el aprovechamiento del gran potencial de energía solar (190 [GW]) presente en toda la zona norte y centro del país [Indicadores de potencial solar, SERC Chile, 2015] además de la energía eólica pero en menor medida.

El nivel de inversión y nuevos proyectos de energía solar se explica porque Chile tiene uno de los mejores niveles de radiación nivel mundial, sin embargo existe otro tipo de energía renovable que tiene inclusive un mayor potencial que se calcula cercano a los 240 [GW] [Estudio del potencial undimotriz de Chile, Baird & Associates, 2009] correspondiente a la energía de las olas del mar o energía undimotriz. Este tipo de energía se viene desarrollando desde hace más de 15 años en otros países y hoy en día existen más de 120 desarrolladores a nivel mundial que presentan distintos dispositivos basados en diferentes principios físicos [Ocean Energy Status Report, JRC, 2014]. En la actualidad existen diversos proyectos de energía undimotriz alrededor del mundo, sin embargo estos corresponden principalmente a prototipos, dado que aún no se logra dar con un dispositivo en fase comercial que pueda ser implementado en proyectos de gran escala. La inmadurez tecnológica de los dispositivos de energía undimotriz (fase pre-comercial) hace que sus costos de implementación (LCOE= 350 – 500 [USD/MWh]) sean altos en comparación con otras fuentes de energías renovables [Ocean Energy: Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities, SI Ocean, 2014]. Sin perjuicio de lo anterior, existen experiencias a nivel mundial en las cuales debido a las condiciones particulares de ciertos sitios (altos costos de la energía, sistemas ineficientes, aislamiento, entre otras), la energía undimotriz resulta ser económicamente factible de implementar.

El proyecto **“Estrategia energética para la implementación de energías marinas en las comunidades costeras de la V Región”** busca precisamente identificar sitios en la región de Valparaíso que, por sus condiciones particulares, sean atractivos para implementar un sistema de energización undimotriz.

Para ello, se abordó el desafío a través de 5 componentes los cuales serán explicados en detalle en los distintos capítulos del presente informe:

- Componente 1: Levantamiento de las necesidades energéticas
- Componente 2: Balance energético
- Componente 3: Determinación del potencial undimotriz
- Componente 4: Desarrollo de sitios y análisis técnico económico
- Componente 5: Difusión del proyecto y sus resultados

Este proyecto fue desarrollado en conjunto con las empresas Con Potencial, I2D Technik, REDE, Bentos, Carnegie, el Instituto Nacional de Hidráulica, la Universidad de Valparaíso y la I. Municipal de Juan Fernández, y fue financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC 2014) del Gobierno Regional de Valparaíso.

Capítulo 1: Diagnóstico de los sistemas eléctricos

1.1 Componente 1: Levantamiento de necesidades energéticas

La componente 1 del presente proyecto tiene como objetivo comprender las necesidades y requerimientos energéticos, y recoger la visión sobre el sistema, de los principales actores de la región pertenecientes al sector público, privado, industria energética, comunidad, entre otros *stakeholders*. La información fue obtenida mediante entrevistas a diversos actores y partes interesadas, y procesada utilizando una metodología desarrollada por la Fundación Chile. Dicho análisis puede ser revisado en profundidad en el anexo 1: “Informe I: Levantamiento de necesidades energéticas”.

Para el análisis se consideraron tres zonas geográficas debido a que cada una cuenta con un sistema distinto para generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica. Las tres zonas en referencia son:

- (1) Costa de la región de Valparaíso:** sector continental conectado al SIC
- (2) Isla Robinson Crusoe:** sector insular con sistema de generación y distribución propio en el poblado San Juan Bautista (operado por la I. Municipalidad de Juan Fernández).
- (3) Isla de Pascua:** sector insular con sistema de generación (central Mataverí) y distribución propio (operado por la empresa estatal SASIPA).

El análisis de visión, necesidades y requerimientos energéticos permite concluir lo siguiente:

- I. Con respecto al sector costero continental de la región de Valparaíso (1), se puede afirmar que los problemas existentes con respecto al abastecimiento de suministro no están relacionados con la cantidad de energía eléctrica disponible, sino que con la cobertura y capacidad de la red e infraestructura de distribución. Sin perjuicio de lo anterior, la cobertura en distribución de energía en la región es de un 99,7% (Anuario Chilquinta - CONAFE, 2015), y los clientes que quedan fuera de dicha red son casos puntuales en sectores rurales, en los cuales no ha sido solicitada o aprobada la expansión de las líneas eléctricas.
- II. Con respecto a la Isla Robinson Crusoe (2), se puede afirmar que el sistema eléctrico del poblado San Juan Bautista presenta deficiencias tanto en la capacidad de generación (instalada), como en la distribución de la energía eléctrica. Lo anterior genera reiterados cortes y restricciones en el suministro, mal funcionamiento e incluso desperfectos en artefactos eléctricos (electrodomésticos). Además, las condiciones del sistema eléctrico han impedido la óptima implementación, o directamente frenado el desarrollo de proyectos sociales o de inversión en la isla (I. Municipalidad de Juan Fernández, 2015).
- III. Con respecto a la Isla de Pascua (3), se puede afirmar que el sistema eléctrico no presenta falencias inmediatas, y que las necesidades básicas por parte de los habitantes de la isla están cubiertas. Sin perjuicio de lo anterior, las elevadas tasas de crecimiento de la

población están correlacionadas con un aumento explosivo de la demanda energética en la isla, es por esto que en el mediano plazo se requerirán inversiones para expandir principalmente la infraestructura de distribución eléctrica (Proyección de demanda y catastro de inversiones, SASIPA, 2015).

- IV. Con respecto al sector insular en general, un tema identificado por la mayoría de los actores entrevistados fue la necesidad de potenciar el desarrollo ERNC, ya que debido a las características de los recursos renovables disponibles, la ubicación física de aislamiento y el sistema eléctrico que opera en estas zonas, existiría una oportunidad económicamente viable que generaría ahorros y traería beneficios al diversificar el sistema eléctrico y depender menos del combustible diesel. Sin embargo, entre los actores entrevistados también se coincidió que el desarrollo energético en el sector insular podría llegar a ser lento debido a las características particulares de estos territorios, ya sea por sus calificaciones de patrimoniales y de conservación ambiental, o bien por las diferencias culturales que se presentan.

1.2 Componente 2: Balance energético

La componente 2 del presente proyecto tiene como objetivo realizar un diagnóstico cuantitativo de los sistemas eléctricos en los territorios descritos anteriormente. Dicho diagnóstico incluye un análisis de composición de la capacidad instalada y generación de energía eléctrica (por tipo de tecnología), cuantificación y proyección de la oferta y demanda, balance energético, determinación del indicador económico “Costo de la Energía” (COE), entre otros aspectos relevantes como la logística de abastecimiento de combustible para el caso de los sectores insulares. A continuación, se presentan las conclusiones del informe de la componente 2: “Informe II Balance Energético”, el cual puede ser revisado en detalle en el anexo 2.

1.2.1 Sector continental (Sistema Interconectado Central)

La región de Valparaíso es abastecida de energía eléctrica por el Sistema Interconectado Central (SIC). Dado que este sistema se extiende a lo largo de gran parte del territorio chileno, y que no es posible determinar con precisión dónde se generaron los electrones que se consumen en Valparaíso, el presente análisis se realizará dentro de un marco de referencia geográfico, el cual estará acotado únicamente a la región de Valparaíso. Lo anterior supone que toda la energía generada en la región se consume en la región, y en caso de existir excedentes (pérdidas), la brecha se cubre exportando (importando) energía hacia (desde) otras regiones.

La región de Valparaíso tiene una demanda anual de energía que asciende a 4.500 [GWh], la cual tiene como destinos los sectores minero (28%), residencial (21%), comercial (15%), industrial (10%) y agrícola (8%). La energía proviene de fuentes fósiles convencionales GNL (50%) y carbón (43%), capacidad que domina la matriz de la región y que se encuentra instalada en sectores costeros, principalmente en las comunas de Quillota, Quintero y Puchuncaví. A continuación se presentan gráficas que complementan la información anterior.

Figura 1. Composición de la distribución de energía eléctrica en sector continental de la V Región. (Fuente: INE Valparaíso, 2015)

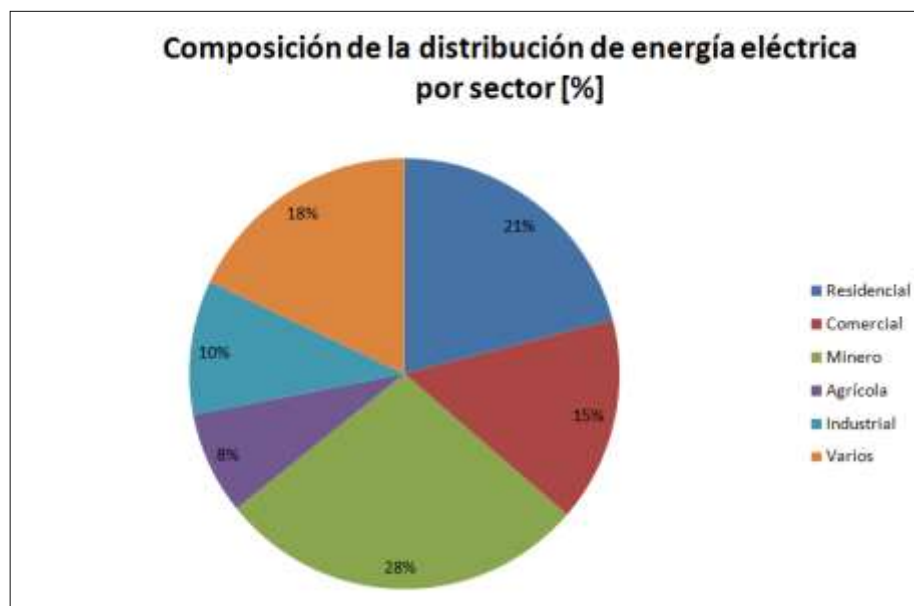


Figura 2. Composición de la generación de energía, por tipo de tecnología, en el sector continental de la V Región. (Fuente: SEREMI de Energía V Región)

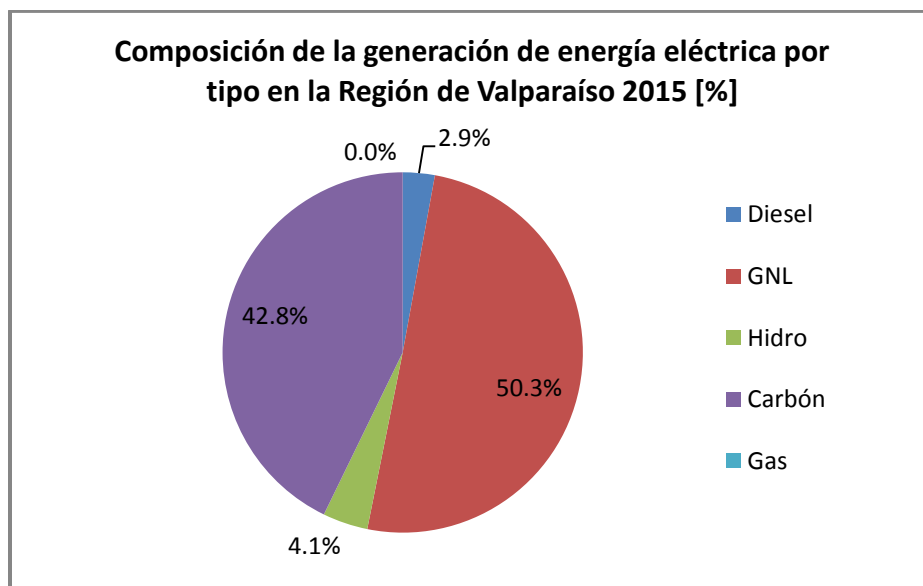


Figura 3. Capacidad instalada por tipo de tecnología en el sector continental de la V Región. (Fuente: SEREMI de Energía V Región)

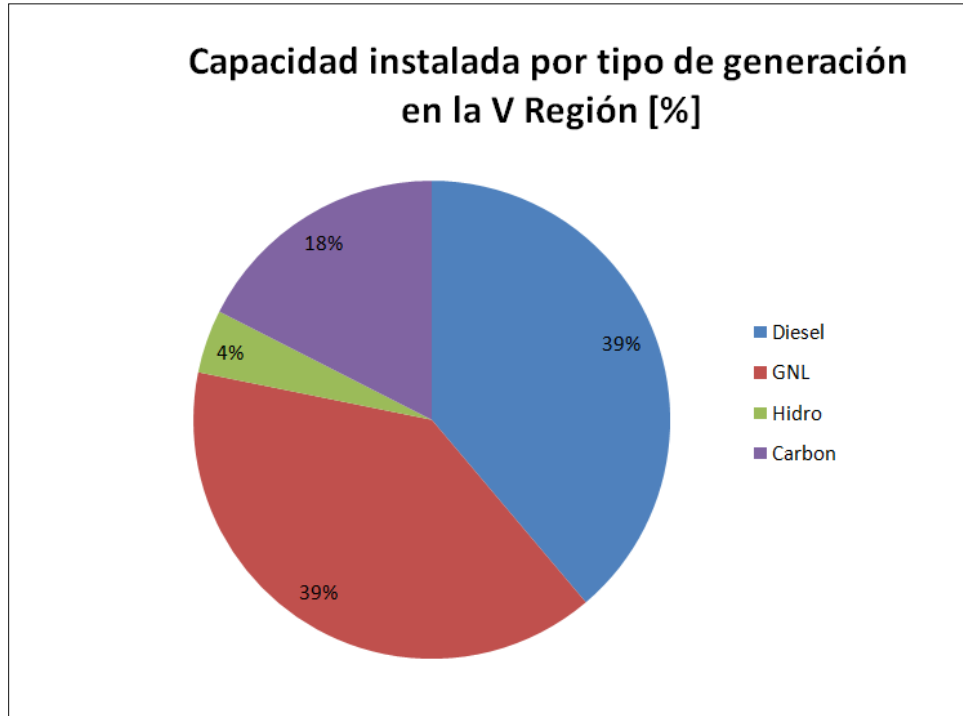
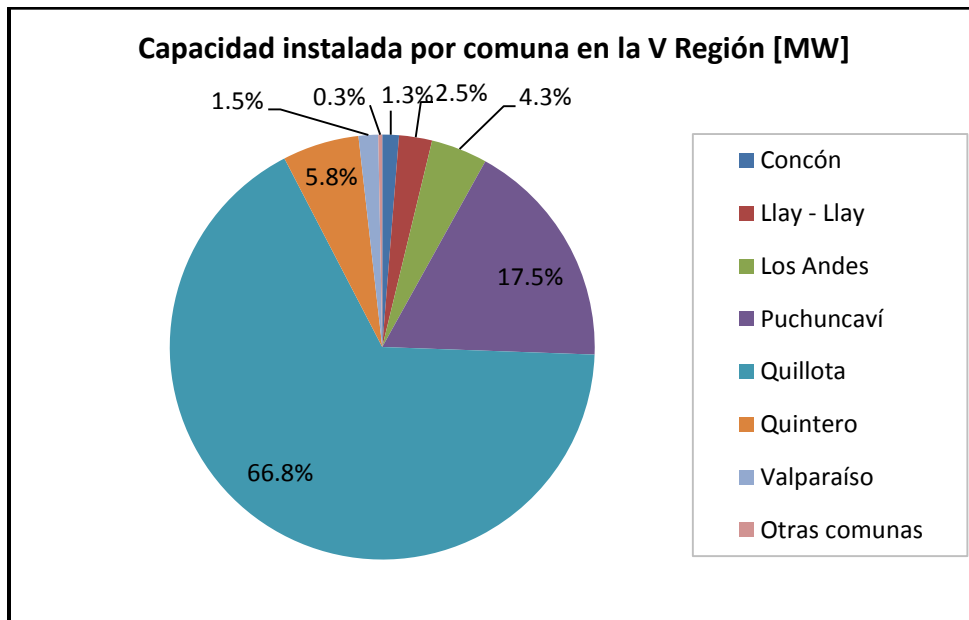


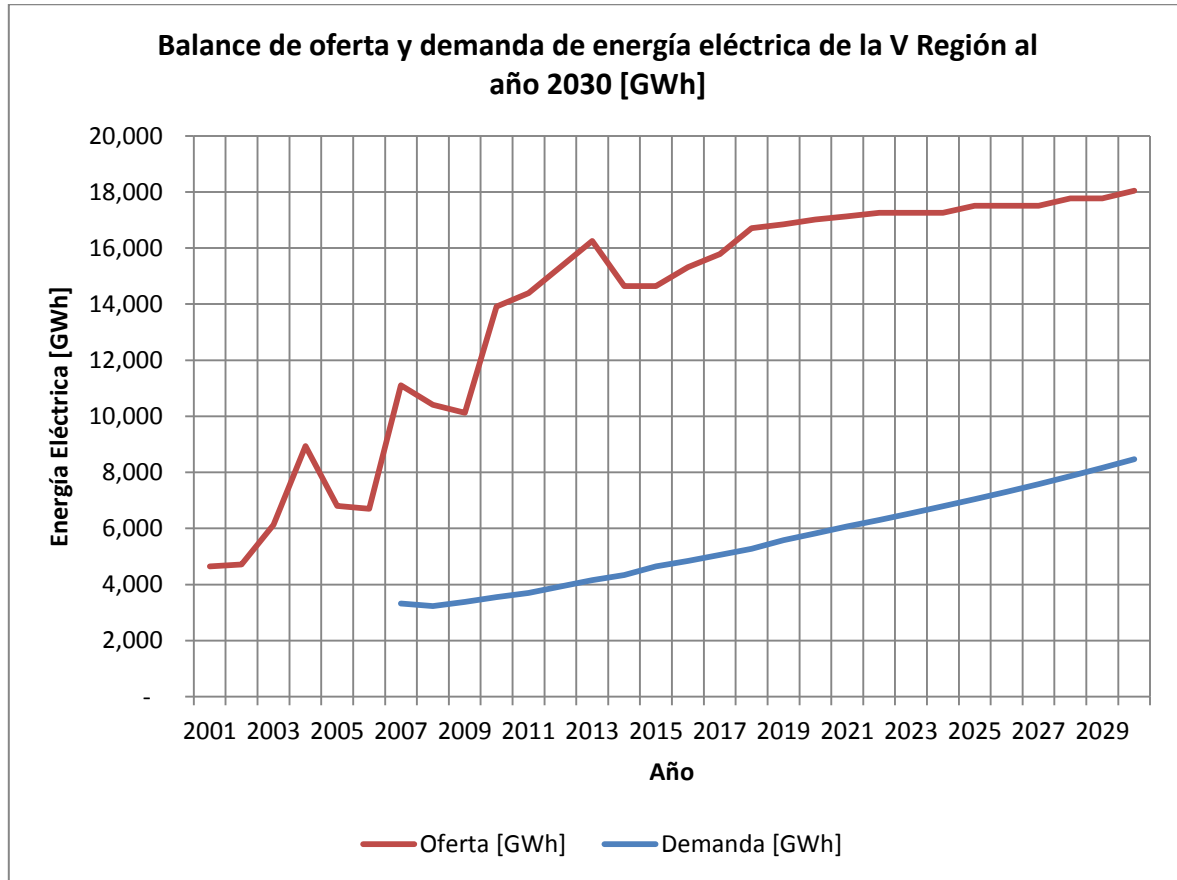
Figura 4. Capacidad instalada por comuna en el sector continental de la V Región. (Fuente: SEREMI de energía V Región)



Con respecto a la oferta total de energía eléctrica, esta ronda los 14.000 [GWh/año], lo que evidencia la calidad de exportadora neta de la región, es decir, si consideramos que la demanda es de 4.500 [GWh/año], entonces la región de Valparaíso “exporta” alrededor de 9.500 [GWh/año]

hacia otras regiones. A continuación se presenta una gráfica que complementa el análisis, mostrando el balance entre oferta y demanda de energía eléctrica, considerando sus respectivas proyecciones. Este análisis se encuentra con mayor profundidad en el Informe II: Balance Energético, el cual puede ser revisado en detalle en el anexo 2.

Figura 5. Balance entre oferta y demanda para el sector continental de la V Región. (Fuente: Elaboración propia)



Con respecto al costo de la energía (COE), este se puede aproximar al costo marginal del sistema (SIC), alrededor de 95 [USD/MWh] (sitio web: www.energiaabierta.cl)(CDEC-SIC, Proyección del costo marginal del sistema, 2015).

El abastecimiento de combustibles requeridos por las principales fuentes de generación (GNL y carbón) llega a los diversos puertos existentes en la V región, y proviene de importaciones desde diversas partes del mundo.

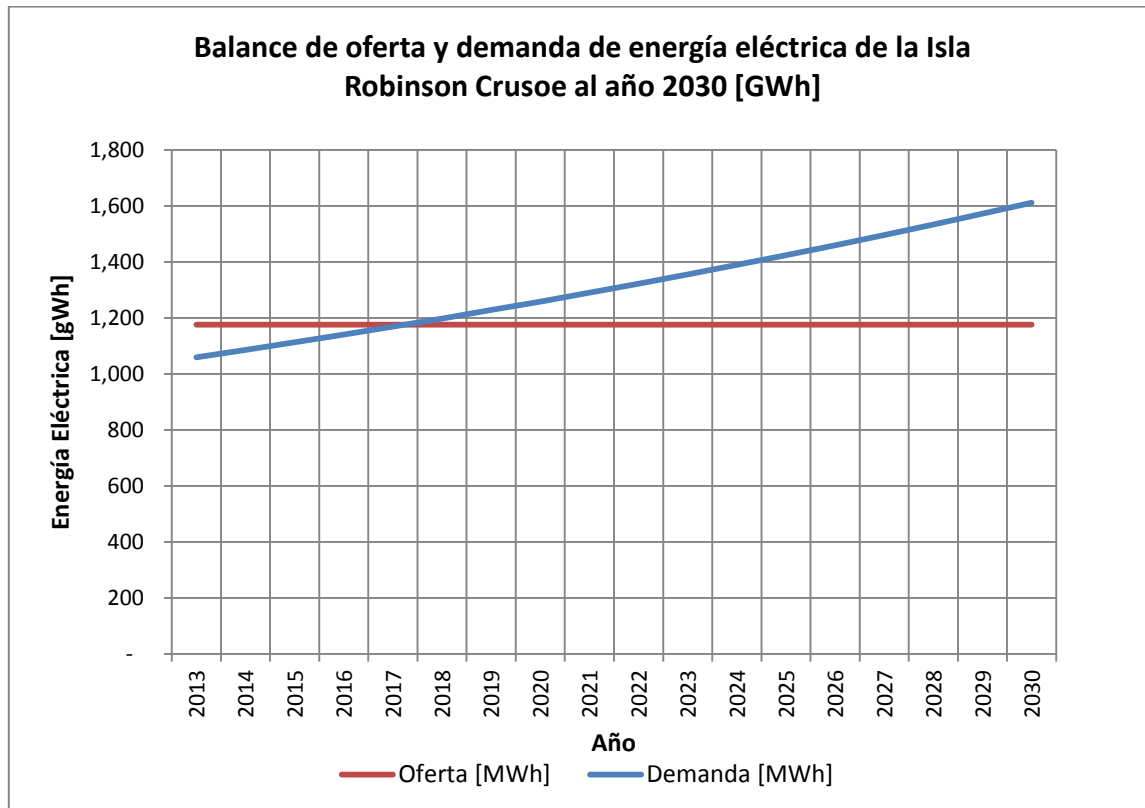
1.2.2 Isla Robinson Crusoe (Sistema eléctrico San Juan Bautista)

La energía eléctrica que abastece el poblado San Juan Bautista, en la Isla Robinson Crusoe, proviene de una pequeña central diésel con tres generadores que suman un total de 1.2 [MW] de capacidad instalada, la cual es operada y mantenida (generación y distribución) por la Ilustre Municipalidad de Robinson Crusoe. Esta central satisface una demanda anual de entre 900 y 1200 [MWh], sin embargo la calidad del suministro dista de ser óptima debido a que se presentan

reiterados cortes y variaciones de tensión, causados por la precariedad del sistema en su conjunto; desequilibrio entre fases, falta de capacidad instalada, fallas en la seguridad, falta de mantenimiento preventivo y correctivo, falta de personal capacitado, presupuesto ajustado, entre otros aspectos (Estudio del sistema eléctrico de media y baja tensión de la comuna de Juan Fernández, ANCARE Energy, 2014).

A continuación se presenta una gráfica que resume el balance energético (oferta v/s demanda) para el sistema eléctrico de la isla, considerando además una proyección al año 2030. En ella se aprecia que la capacidad instalada actualmente no será suficiente para cubrir la demanda en el corto plazo, es más, se puede pensar que el crecimiento de la demanda está siendo restringido debido a una falta de inversión en capacidad instalada. Este análisis se encuentra con mayor profundidad en el Informe II Balance Energético, el cual puede ser revisado en detalle en el anexo 2.

Figura 6. Balance entre oferta y demanda para la Isla Robinson Crusoe. (Fuente: Elaboración propia)



El combustible requerido por la central diésel asciende a 300.000 [l/año] (857 [tCO₂/año]), lo que genera un gasto para la Municipalidad de \$ 280.000.000, correspondientes al 30% del presupuesto municipal. El diésel es comprado en el continente a precio de mercado (incluyendo IVA e impuesto específico), y es transportado hacia la isla en el estanco de la “Motonave Antonio”, operada por la empresa TransMarko, la cual mantiene un contrato con el gobierno regional que asegura viajes quincenales durante un año por \$ 400.000.000 (licitado a 3 años). En la isla el combustible es

descargado utilizando camiones aljibes, y luego es depositado en los estanques propios de la central.

Los costos anuales de explotación del sistema ascienden a \$320.000.000 (año 2015), esto sitúa al indicador costo de la energía (COE) en los 483 [USD/MWh]¹ (Planilla de costos del sistema eléctrico, I. Municipalidad de Juan Fernández, 2015). Lo anterior es equivalente a una tarifa en pesos de 319 [CLP/kWh], sin embargo la Municipalidad subsidia este precio con un gasto de más de \$ 150.000.000 anuales, para lograr reducirlo hasta un valor de 129 [CLP/kWh], similar al precio de venta de la energía en Valparaíso continental (120 [CLP/kWh]).

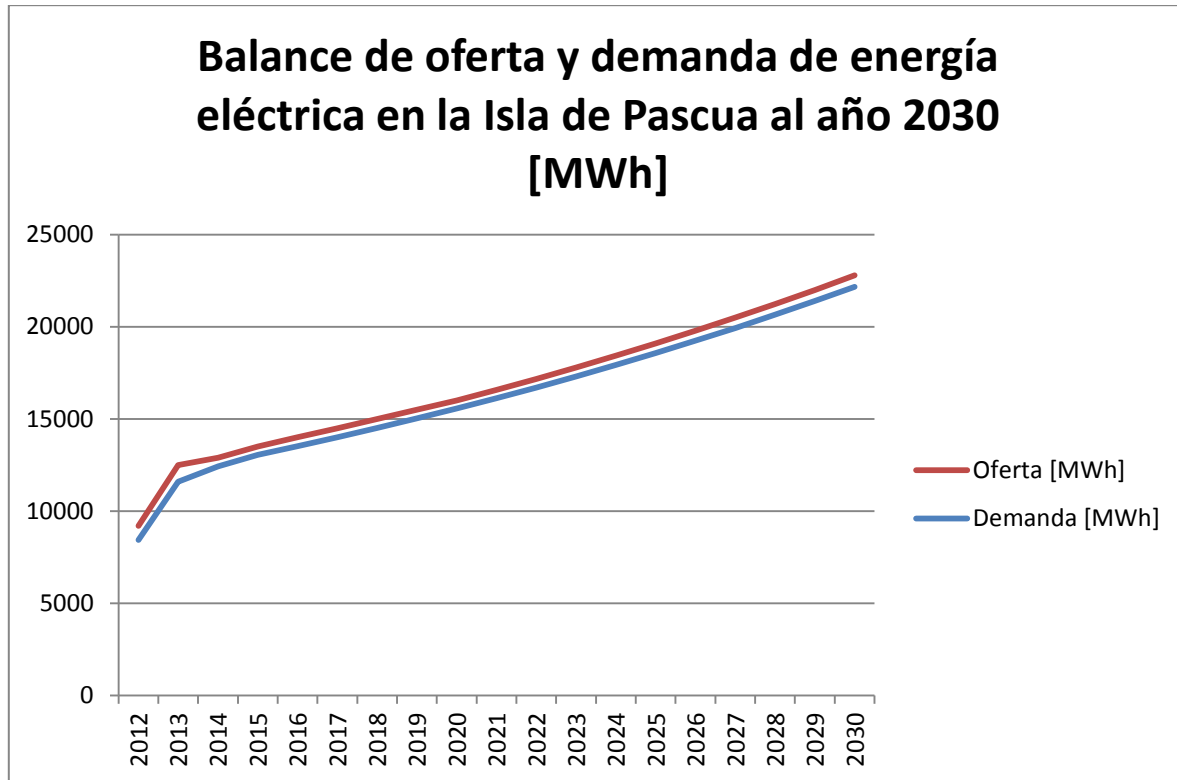
1: No se considera el costo de transporte del combustible debido a que una reducción en su demanda no necesariamente afecta la frecuencia de los viajes del barco, el transporte es un costo hundido.

1.2.3 Isla de Pascua (central Mataverí)

La energía eléctrica que abastece a la Isla de Pascua, proviene de una central diésel (Mataverí) con cinco generadores que suman un total de 5.2 [MW] de capacidad instalada, la cual es operada y mantenida (generación y distribución) por la empresa estatal SASIPA. La demanda de energía eléctrica en el año 2015 fue de 14.000 [MWh], la cual está holgadamente cubierta en términos de capacidad de generación, sin embargo debido a un otorgamiento de nuevas tierras a la comunidad, se proyecta una expansión geográfica de nuevos consumidores, los cuales deberán ser abastecidos necesariamente invirtiendo en una ampliación del sistema de distribución eléctrico. (Elaboración de propuesta energética para Isla de Pascua, FCFM, 2015).

A continuación, se presenta una gráfica que resume el balance energético (oferta v/s demanda) para el sistema eléctrico de la isla, considerando además una proyección al año 2030. En ella se aprecia que en teoría la capacidad instalada actualmente será suficiente para satisfacer el crecimiento de la demanda, sin embargo, se requerirán inversiones en el sistema de distribución para lograr abastecer a los nuevos clientes. Además, se debe considerar que la expansión en la demanda es causada principalmente por factores demográficos de la población tanto local como flotante (turismo), por lo que futuras políticas de inmigración tendrán un efecto considerable en el comportamiento de la demanda de energía eléctrica. Este análisis se encuentra con mayor profundidad en el Informe II Balance Energético, el cual puede ser revisado en detalle en el anexo 2.

Figura 7. Balance de oferta y demanda de energía eléctrica en la Isla de Pascua al año 2030 [MWh] (Fuente: Elaboración propia).



El combustible requerido por la central diésel asciende a 2,6 millones de litros por año (11.503 [tCO₂/año]), el cual es subsidiado por el estado en las siguientes formas:

- Subsidio directo a la compra de combustible, app. 415.000.000 [CLP/año] (Ley 18502, año 1986)
- Recuperación del pago de impuesto específico a los combustibles, app. 178.000.000 [CLP/año] (Ley 18674, año 1987).
- Subsidio al transporte a cargo de ENAP (Memoria Anual, ENAP, 2011).

Además, la empresa estatal SASIPA, encargada del suministro eléctrico y de agua potable en la isla, recibe asignaciones presupuestarias directas (2800M, Ppto. Nacional, Biblioteca del Congreso, 2014).

Los costos anuales de explotación del sistema ascienden a \$2.270.000.000 (Análisis Financiero Razonado, SASIPA, 2015), esto sitúa al indicador costo de la energía (COE) en los 440 [USD/MWh]². Lo anterior es equivalente a una tarifa en pesos de 295 [CLP/kWh], sin embargo el conjunto de subsidios mencionados anteriormente logra reducir el precio hasta un valor entre 65 y 250 [CLP/kWh], dependiendo del tipo de cliente. El precio de venta a los consumidores residenciales es incluso menor al de Santiago (110 [CLP/kWh]) (Licitación de suministro, Chilectra, 2014).

2: No se considera el costo de transporte del combustible debido a que una reducción en su demanda no necesariamente afecta la frecuencia de los viajes del barco, el transporte es un costo hundido. Tampoco se consideran las asignaciones presupuestarias directas.

1.3 Conclusiones del Capítulo 1: Diagnóstico de los sistemas eléctricos

Considerando el diagnóstico tanto cualitativo como cuantitativo de los sistemas eléctricos en los tres territorios analizados, y teniendo en cuenta el alto costo de implementar soluciones de energía undimotriz, se puede concluir que:

- I. En el sector continental, este tipo de tecnología no es competitiva en costos considerando los precios del SIC. Además, la distribución de energía cubre al 99% de los consumidores y los sectores aislados se encuentran principalmente en zonas rurales hacia el interior, por tanto su implementación no es económicamente factible en caso de querer conectarse directamente a la red. Lo anterior significa que las oportunidades de implementar energía undimotriz en el sector costero continental son escasas, a menos que el propósito tenga fines compartidos como investigación científica o un prototipo de tecnología para una solución aislada (*off-grid*) particular.
- II. Los sectores insulares presentan altos costos de la energía (483 y 440 USD/MWh, Robinson Crusoe y Pascua, respectivamente), los cuales están dentro del rango estimado para las energías marinas: LCOE = 350 – 500 [USD/MWh] (Ocean Energy: Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities, SI Ocean, 2014), por tanto a priori se puede pensar que desde un punto de vista económico, existen oportunidades para que su implementación genere un ahorro al sector público (estado).
- III. En la Isla Robinson Crusoe existe la necesidad de ampliar la capacidad instalada para lograr satisfacer los requerimientos de los consumidores y asegurar la calidad del suministro. Frente a esta necesidad, los actores locales están muy conscientes de la importancia del desarrollo sustentable para la isla, por lo que han manifestado interés en integrar a su sistema, fuentes de energía renovable. Esto supone una oportunidad para el desarrollo de la energía undimotriz en dicho territorio.
- IV. Siguiendo la línea del modelo de desarrollo económico que se busca implementar en estos sectores insulares, es necesario comenzar a desplazar combustible diésel por otras fuentes de energía renovable. Lo anterior se debe a que esta forma de generación es altamente costosa para el estado y para el medio ambiente, además de representar una amenaza latente para estas pequeñas economías basadas en el turismo y la extracción de recursos marinos.

En vista de las conclusiones expuestas, hace sentido determinar el potencial undimotriz y modelar el clima de oleaje de los sectores insulares (Componente 3), información que al momento no existía. Además, se debe determinar la factibilidad técnico-económica de instalar un dispositivo (Componente 4), lo que considera identificar sitios compatibles y estudiar las restricciones, características y dimensiones para un proyecto undimotriz en ambos territorios insulares.

Capítulo 2: Desarrollo y caracterización de sitios compatibles

Dado que los sectores insulares presentan oportunidades para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz, las siguientes componentes de este proyecto (3 y 4) abordarán el desarrollo de sitios de interés y un caso de estudio técnico-económico para ambas islas.

2.1 Desarrollo de sitios

Para determinar dónde instalar un dispositivo de generación undimotriz, se debe llevar a cabo un proceso de desarrollo o caracterización del sitio, que considera abordar diversos aspectos críticos para el proyecto, los cuales se describen a continuación:

- 1) **Estimación del recurso de oleaje:** Se debe conocer con precisión el potencial energético disponible y el clima de oleaje, para identificar sitios de concentración de energía, eventos extremos y ventanas de tiempo para realizar operaciones de instalación y mantenimiento.
- 2) **Batimetría y geología:** La batimetría es crucial para determinar la morfología (forma) del fondo marino, y lograr identificar sitios a profundidades compatibles con la instalación de dispositivos. Con respecto al estudio geofísico, este es importante para determinar el tipo de fundaciones del dispositivo y el cable submarino, sin embargo este estudio queda fuera del alcance del proyecto y las recomendaciones son realizarlo en una fase de inversión más avanzada.
- 3) **Zonificación y áreas protegidas:** Se debe verificar la compatibilidad entre el ordenamiento territorial y los sitios de interés, considerando el sitio de instalación del proyecto y el trazado del cable que conducirá la energía hacia los centros de consumo. Además, se deben identificar las áreas protegidas para intentar evitarlas.
- 4) **Conexión a la red:** La viabilidad para evacuar la energía eléctrica es crítica para este tipo de proyectos, por lo que se debe analizar si existen restricciones para el tendido de líneas o cables submarinos.
- 5) **Acceso a infraestructura de apoyo y logística:** Para la instalación, operación y mantenimiento de los dispositivos undimotrices, se requiere de infraestructura portuaria (muelles y grúas) y embarcaciones que puedan prestar servicios y apoyar la logística requerida. Es por esto que se debe analizar la infraestructura y embarcaciones presentes en los sitios de interés.
- 6) **Concesiones marinas:** Se debe comprender el proceso de solicitud de permisos y una concesión marina, el cual varía en los distintos países y regiones del mundo. Además, se debe realizar un levantamiento de las concesiones marinas vigentes para evitar la superposición del sitio con otros usos previamente otorgados.
- 7) **Conflictos por otros usos:** A modo de evitar que el proyecto tenga conflictos en su génesis, se deben identificar otros usuarios del mar tales como pescadores, turistas, rutas de navegación, zonas portuarias, entre otros usos que compitan con el desarrollo de proyectos de esta índole.
- 8) **Impacto ambiental:** Se deben realizar los respectivos estudios de impacto ambiental requeridos por la normativa vigente. Además, dichos estudios sirven para validar el

impacto del proyecto frente a la comunidad y las partes interesadas. El estudio de impacto ambiental queda fuera del alcance de este proyecto, y se recomienda realizarlo en una etapa de inversión más avanzada.

- 9) **Trabajo con stakeholders:** Desde un comienzo debe sensibilizar el proyecto y diseñarlo en conjunto con los actores locales y *stakeholders*. Si existe oposición por parte de la comunidad, es muy difícil que un proyecto de estas características pueda ser desarrollado.

Una vez que se han analizado los aspectos mencionados, se decidirá el mejor sitio en base a los siguientes criterios de evaluación:

- Buen recurso de oleaje
- Corta distancia a un punto de conexión o consumo
- Espacio para una subestación y cable enterrado en el sector costero
- Corta distancia a puertos e infraestructura de apoyo
- Buen acceso terrestre
- Sitio alejado de áreas de protección
- Nulo impacto sobre el hábitat y las especies locales
- Mínimo impacto en el mar y la costa
- Mínimos conflictos con otros usuarios del mar

A continuación, las componentes 3 y 4 del presente proyecto abordarán los aspectos mencionados anteriormente, con la intención de identificar sitios atractivos para la implementación de un proyecto de energía marina (undimotriz). Sin perjuicio de lo anterior, en caso de que se dé luz verde a dicho proyecto, se deberá profundizar en detalle cada uno de estos aspectos.

2.2 Componente 3: Evaluación recurso energético del oleaje Isla de Pascua y Robinson Crusoe

Previo a instalar cualquier dispositivo de generación undimotriz, se debe tener un conocimiento preciso acerca del comportamiento del oleaje en los sitios de interés. Lo anterior se debe a que la factibilidad de un proyecto de esta índole depende directamente de factores como la potencia del oleaje, eventos extremos (condiciones de diseño), ventanas de tiempo para operaciones y mantenimiento, entre otros aspectos propios del sitio. Además, al momento de seleccionar un dispositivo en particular, su diseño debe armonizar con las características físicas del oleaje (altura, longitud de onda y período), las cuales son propias de cada sitio.

Con la intención de cuantificar el potencial undimotriz, caracterizar el clima de oleaje e identificar sitios específicos de concentración de energía, se desarrolló una modelación espectral de oleaje en los sectores insulares de Robinson Crusoe y Pascua. La modelación estuvo a cargo de un equipo de académicos pertenecientes a la facultad de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso. Para revisar en detalle el estudio “Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson Crusoe” ver anexo 3A.

Para realizar las modelaciones mencionadas, en primer lugar se requiere comprender la morfología del lecho marino en estas islas, por lo que se realizó una recopilación de información batimétrica de diversas fuentes para ambas islas (anexo 3). Además, para complementar la información de Robinson Crusoe, se debió realizar una exploración batimétrica en terreno, conformada por un equipo de profesionales de Fundación Chile, el Instituto Nacional de Hidráulica y uno de los asociados al proyecto, la empresa consultora Con Potencial (ver anexo 3B).

A continuación se presentan los principales resultados del levantamiento batimétrico y la modelación espectral de oleaje:

2.2.1 Isla Robinson Crusoe

En el caso de Isla Robinson Crusoe, el valor medio de la altura significativa varía entre $H_{m0} = 1.97 - 2.93$ [m], mientras que el periodo energético presenta valores medio entre $T_e = 10.7$ y 11.0 [s]. La potencia del oleaje presenta valores medios entre $P = 23 - 54$ [kW/m] y la disponibilidad energética anual varía entre 194 y 476 [MWh/m].

Los mapas a continuación resumen los resultados obtenidos. En ellos se aprecia la potencia y dirección media del oleaje, las curvas de nivel (batimetría), y además se identifican sitios atractivos para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz.

Figura 8. Potencia y dirección media en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).

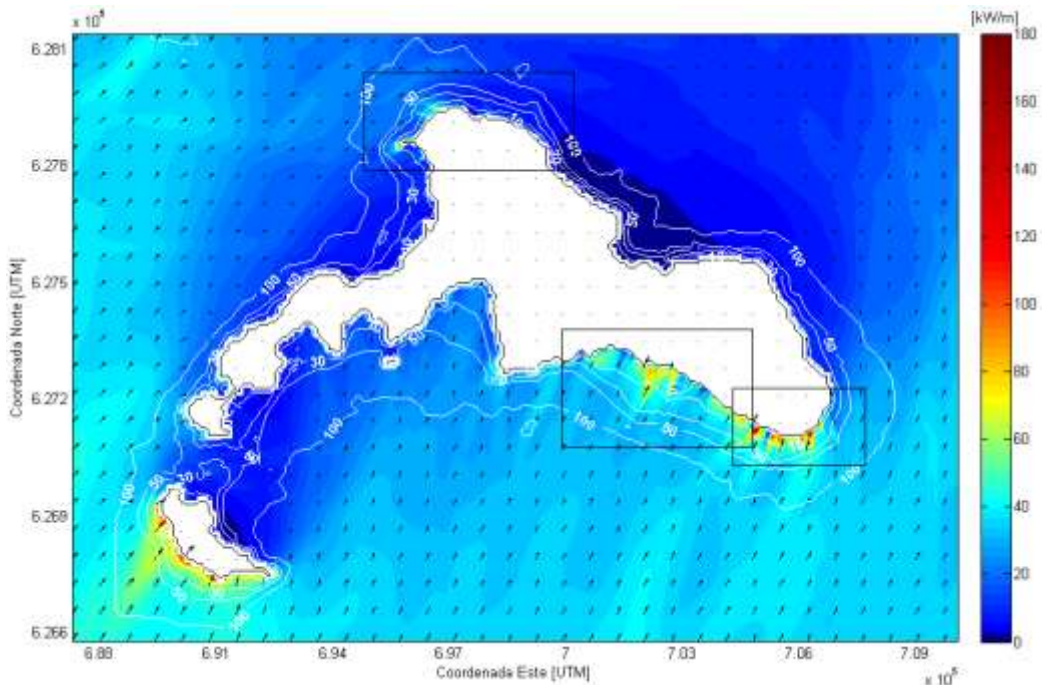
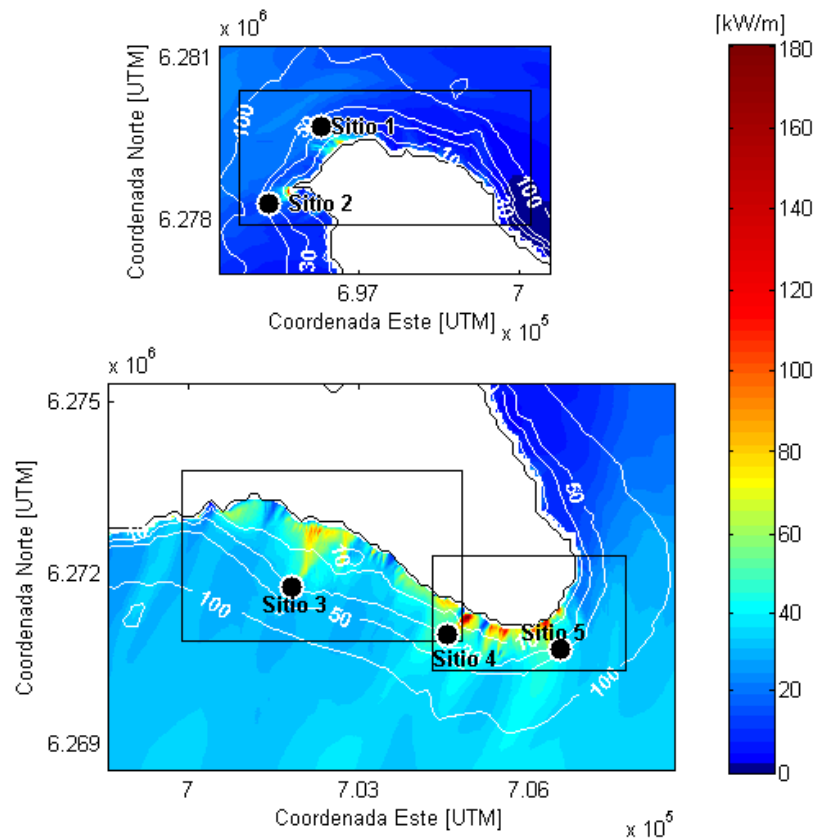


Figura 9. Sitios de interés en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).



2.2.2 Isla de Pascua

En el caso de la Isla de Pascua, el valor medio de la altura significativa varía entre $H_{m0} = 2.33 - 2.75$ [m], mientras que el periodo energético se presenta entre $T_e = 11.2 - 11.6$ [s]. La potencia del oleaje entrega valores medios entre $P = 37$ y 41 [kW/m] y la disponibilidad energética anual varía entre 333 y 469 [MWh/m].

Los mapas a continuación resumen los resultados obtenidos. En ellos se aprecia la potencia y dirección media del oleaje, las curvas de nivel (batimetría), y además se identifican sitios atractivos para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz.

Figura 10. Potencia y dirección media en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).

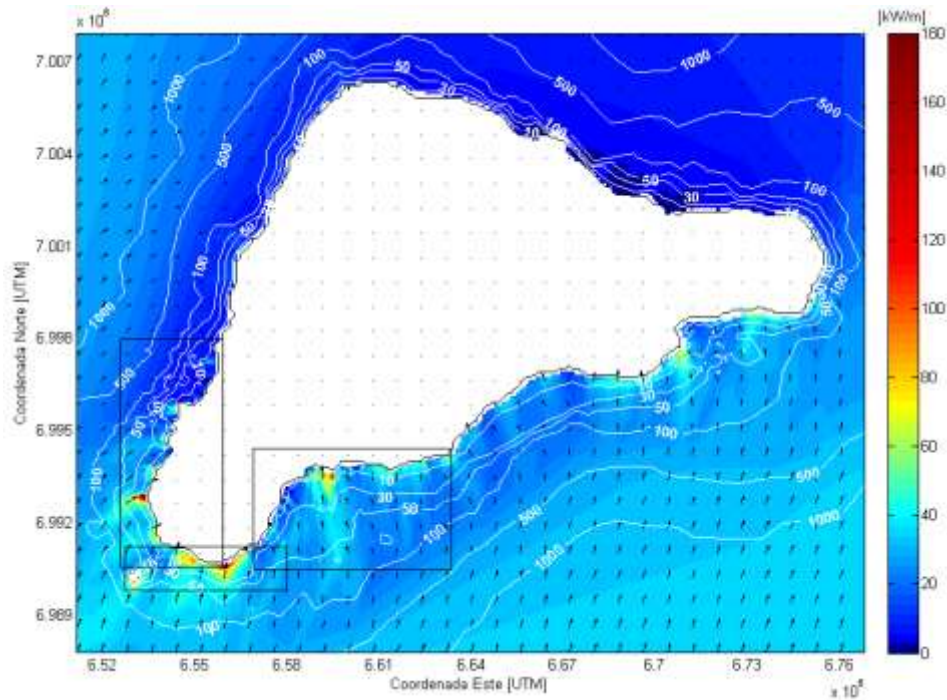
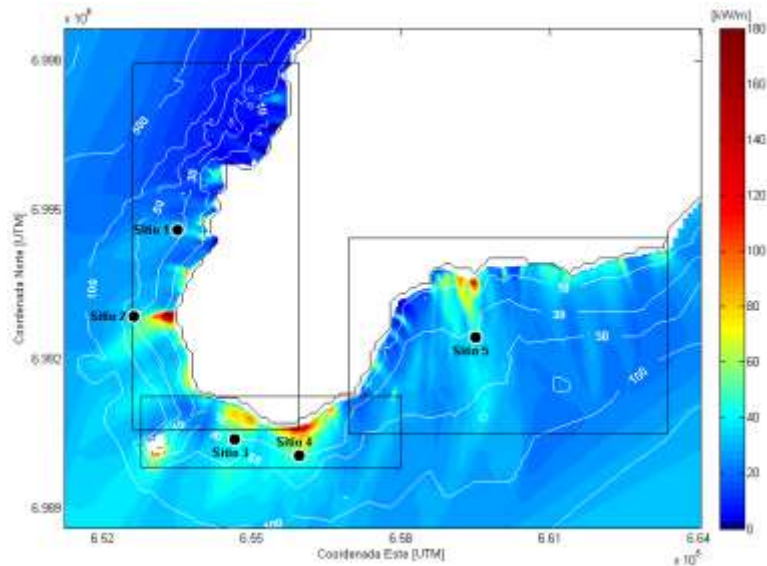


Figura 11. Sitios de interés en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).

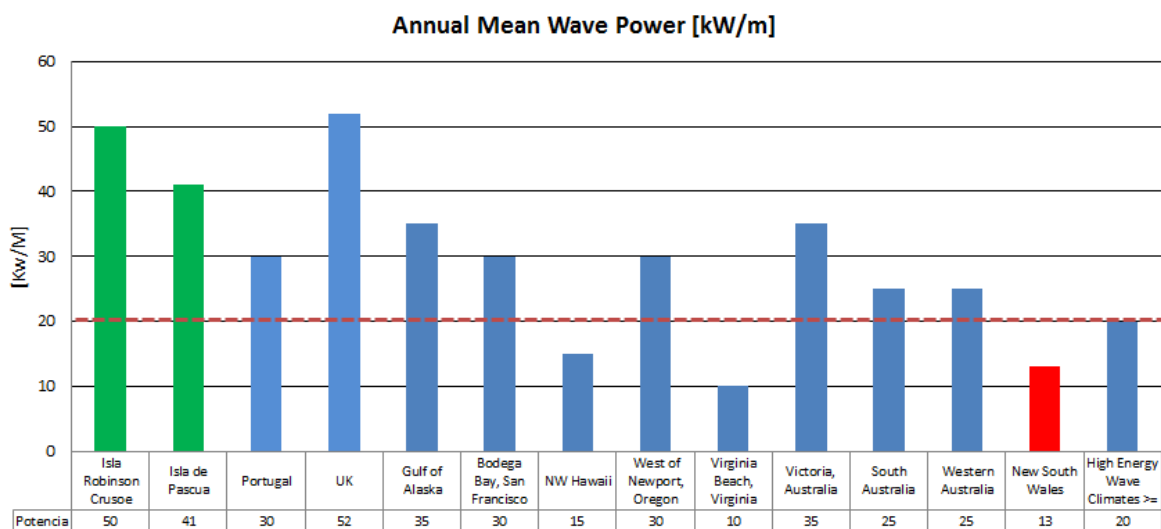


2.3 Conclusiones componente 3: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua y Robinson Crusoe

A continuación se presentan las conclusiones con respecto a la modelación espectral de oleaje y al levantamiento batimétrico realizado:

- I. En ambas islas existe un gran potencial undimotriz, comparable a los sitios más energéticos a nivel mundial, y muy por sobre lo que es considerado un clima de alta energía. A continuación se presenta un gráfico comparativo con otros lugares en el mundo:

Figura 12. Potencia media anual de energía por país [kW/m] (Fuente: elaboración propia).



- II. En base a factores como la calidad de la información batimétrica, potencia del oleaje, profundidad y condiciones geográficas del borde costero, se definieron tres sitios de interés para cada isla. En estos lugares se incrementará la precisión del modelo para conocer con mayor detalle el comportamiento del oleaje en aquellas zonas. A continuación se presentan los sitios seleccionados para cada isla:

Figura 13. Ubicación de los sitios de interés en Isla de Pascua (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
2	IP2	652620	6992860	30
4	IP4	655940	6990050	30
5	IP5	659500	6992430	30

Figura 14. Ubicación de los sitios de interés en Isla Robinson Crusoe (Fuente: Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson, 2016).

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
1	RC1	696300	6279750	30
3	RC3	701825	6271750	30
4	RC4	704550	6270925	30

2.4 Componente 4: Caracterización de Sitios y Análisis Económico

Esta componente tiene como objetivo abordar los temas zonificación y áreas protegidas, conexión a la red, acceso a infraestructura de apoyo y logística, permisos y concesiones, conflictos por otros usos y trabajo con stakeholders. Finalmente, se realizará un análisis económico con información proporcionada por dos desarrolladores de tecnología, con la intención de evaluar si es posible reducir el costo de la energía en comparación con la situación actual de los sistemas insulares.

2.4.1 Zonificación y áreas protegidas

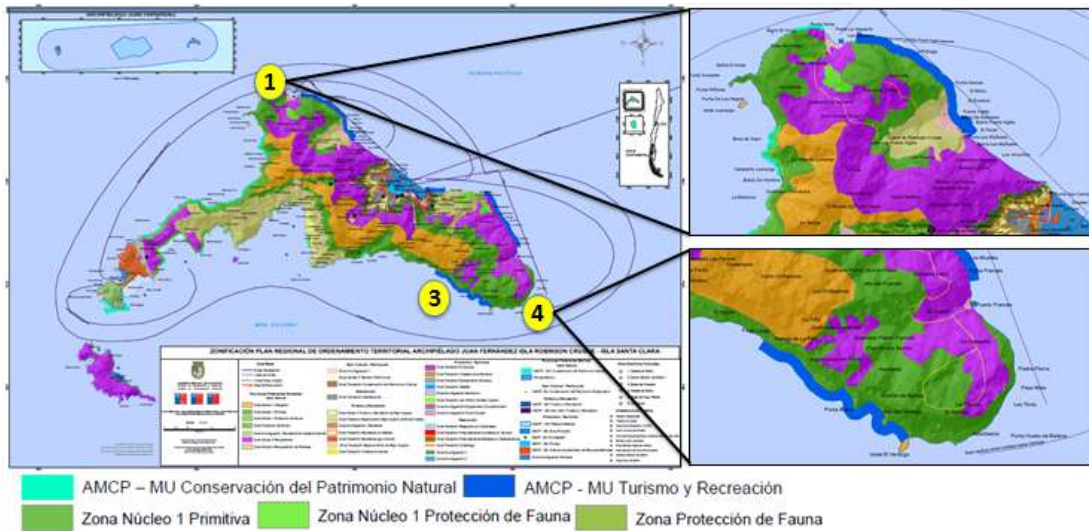
Con respecto a esta temática, uno de los asociados al proyecto, la empresa I2D Technik, desarrolló el estudio “Informe de zonificación e instrumentos de planificación territorial del sector costero e insular de la Región de Valparaíso”, cuyo objetivo es Identificar zonas o sitios compatibles con el desarrollo de proyectos de energía marina, en base a las restricciones asociadas a instrumentos de planificación territorial, zonificación y protección del medio ambiente, en el sector costero continental e insular de la V Región. Sin perjuicio de lo anterior, el presente informe se abordará únicamente las conclusiones con respecto al sector insular. Para revisar en detalle el informe de zonificación ver anexo 4A.

Cabe destacar que la energía marina no se encuentra considerada en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT), ni en la Macro Zonificación de Borde Costero (MZBC).

2.4.1.1 Isla Robinson Crusoe

A continuación se presenta el mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla Robinson Crusoe. En él se puede apreciar que los sitios 1 y 3 coinciden con áreas marinas costeras protegidas de múltiples usos (conservación del patrimonio natural y turismo y recreación). Estas áreas si bien son protegidas, consideran múltiple usos siempre y cuando estos sean compatibles con su fin de proteger el medio. En el caso de la instalación de un dispositivo undimotriz, el estudio de impacto ambiental debería demostrar la compatibilidad del proyecto con estas áreas de protección de múltiples usos. Por otro lado, en el caso del sitio 4, este se encuentra en un área sin restricciones particulares, por lo que sería viable la instalación de un dispositivo, o bien un arreglo de ellos.

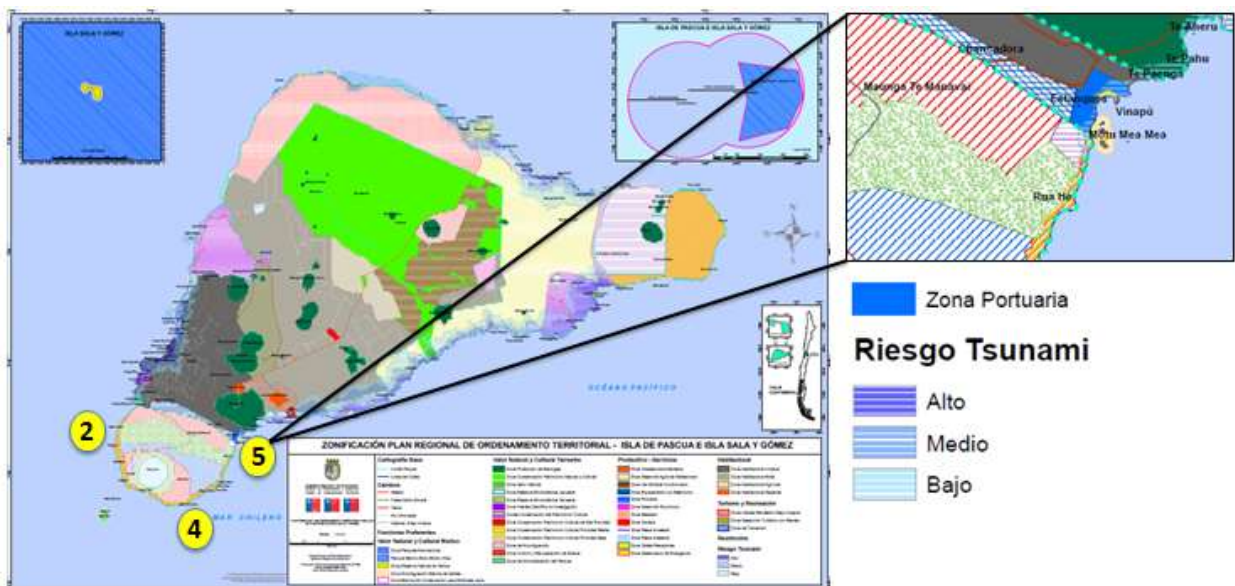
Figura 15. Mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla Robinson Crusoe (Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso).



2.4.1.2 Isla de Pascua

A continuación se presenta el mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla de Pascua. En él se puede apreciar que los sitios 2 y 4 coinciden con áreas patrimoniales, reservadas para ceremonias propias de la cultura Rapa Nui, por lo que inmediatamente deben ser descartados. Por otro lado, el sitio 5 se encuentra frente a una zona declarada como portuaria, la cual sí sería compatible con el desarrollo de un proyecto de energía undimotriz. Cabe destacar que la zonificación indica un riesgo medio de tsunami, lo cual evidencia la importancia de complementar el presente estudio con un estudio de tsunamis y zonas de inundación.

Figura 16. Mapa de zonificación y ordenamiento territorial (PROT) de la Isla de Pascua (Fuente: Gobierno Regional de Valparaíso).



Finalmente, se puede concluir que para el caso de Robinson Crusoe, se debe demostrar la compatibilidad entre un proyecto de energía undimotriz y las áreas marinas costeras protegidas de múltiples usos (AMCP-MU) para el caso de los sitios 1 y 3, y el sitio 4 se encuentra libre de restricciones para desarrollar proyectos de esta índole. Con respecto a Isla de Pascua, el sitio 5 es el único compatible con las restricciones de zonificación.

Figura 17 .Sitios restantes en Isla Robinson Crusoe y Pascua luego del análisis de zonificación (Fuente: elaboración propia).

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
1	RC1	696300	6279750	30
3	RC3	701825	6271750	30
4	RC4	704550	6270925	30

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
5	IP5	659500	6992430	30

2.4.2 Conexión a la red y consumo

Un aspecto crítico en los proyectos de energía es la conducción de la electricidad generada hacia los centros de consumo. Para el caso particular de estas islas, los centros de consumo (asentamientos) se encuentran en bahías o sectores protegidos de la fuerza del mar, sin embargo, los sitios compatibles con desarrollos undimotrices requieren de un buen recurso de oleaje, es decir, sectores no protegidos o abiertos. En definitiva, el principal desafío en los sectores insulares será llevar la energía desde el punto de generación hasta el centro de consumo, especialmente en Robinson Crusoe.

2.4.2.1 Isla Robinson Crusoe

Los posibles puntos de conexión en el sistema eléctrico de la isla Robinson Crusoe son la sub-estación que se encuentra en la central generadora del poblado San Juan Bautista, o bien algún punto de la línea de media tensión (13,2 [kV]) que cubre las inmediaciones del poblado, para lo cual habría que construir una nueva sub-estación eléctrica. El desafío está en lograr llegar con un cable eléctrico desde los sitios 1, 3 y 4 hasta el poblado en Bahía Cumberland, para ello existen las alternativas de tendido aéreo o cable submarino. En el caso del tendido aéreo, se debe considerar que la isla posee una geografía abrupta, que dificulta mucho la instalación y mantenimiento de la línea (mayores costos), y en el caso de un cable submarino, se debe considerar una inversión (costos de instalación) muy alta, cercana a los 700.000 [USD/km].

La Isla Robinson Crusoe cuenta con calificaciones de Parque nacional y Reserva mundial de la Biosfera (nombrada por la UNESCO), por lo que pensar en un tendido aéreo desde el sitio 3 resulta imposible. Además, un cable submarino desde el sitio 3 a Bahía Cumberland resulta extremadamente costoso, por lo que este sitio y sus inmediaciones quedan descartados.

Con respecto a los sitios 1 y 4, una línea aérea obligadamente debería pasar por dentro del parque nacional, sin embargo en estas zonas la vegetación no es tan frondosa y existen algunos sectores en donde el impacto ambiental sería menor, sin embargo un tendido así sería posible únicamente con un estudio que cuantifique y minimice su impacto ambiental, además de tener el apoyo de todas las partes interesadas. Por otro lado una línea submarina obligadamente implica una mayor inversión, sin embargo esta se puede reducir buscando un sitio más próximo al centro de consumo, lo que inevitablemente lo aleja de los sectores con mayor energía (menor factor de planta). Otra solución puede ser una conexión mixta (aire – tierra – mar).

Finalmente, se puede pensar también en una conexión directa a un consumo particular, por ejemplo una central de procesamiento de langosta, principal actividad económica de la isla. (Censo INE, 2012).

A continuación se presentan mapas que muestran la geografía de la isla, la ubicación de su centro de consumo, un plano del sistema eléctrico y las áreas consideradas parques terrestre y marino.

Figura 18. Conjunto de mapas de referencia, Robinson Crusoe (Fuente: elaboración propia en base a distintas fuentes).

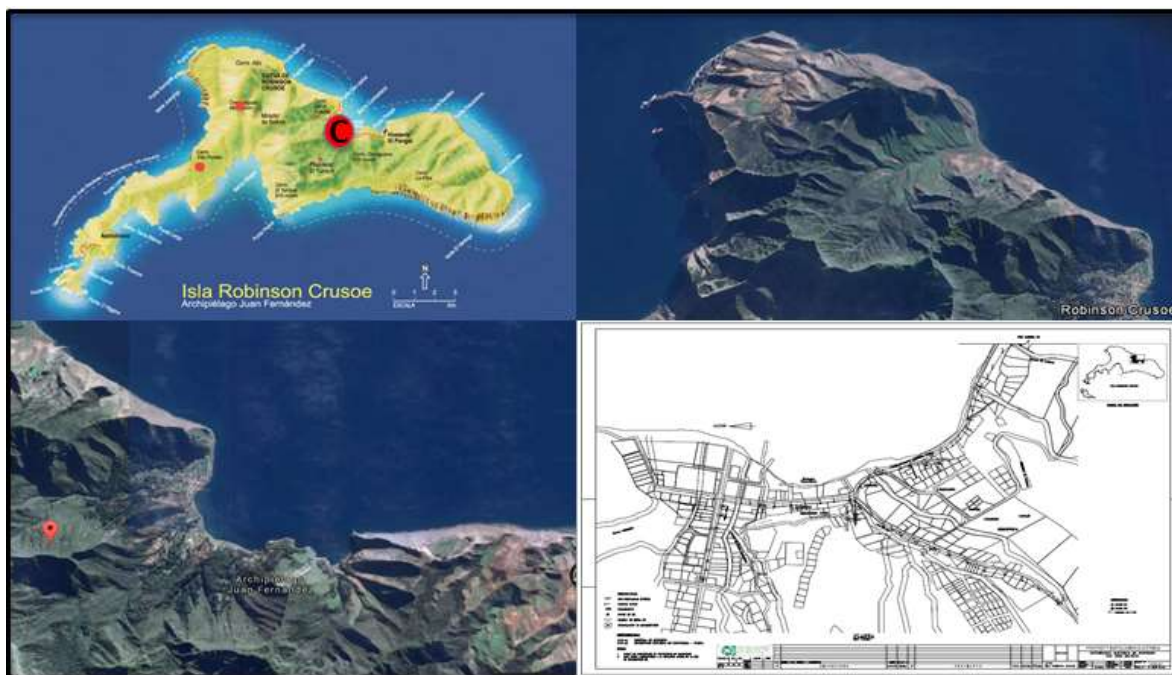


Figura 19. Plan de manejo parque nacional Archipiélago Juan Fernández (Fuente CONAF).

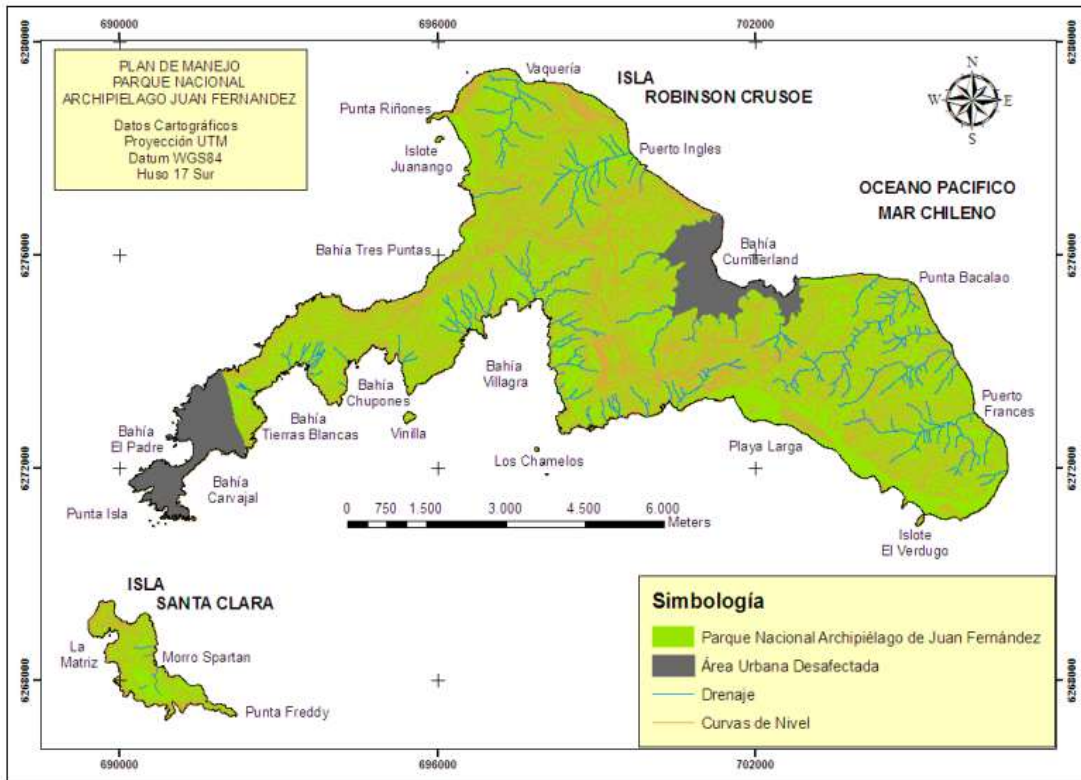


Figura 20. Plan de manejo parque nacional Archipiélago Juan Fernández (Fuente CONAF).

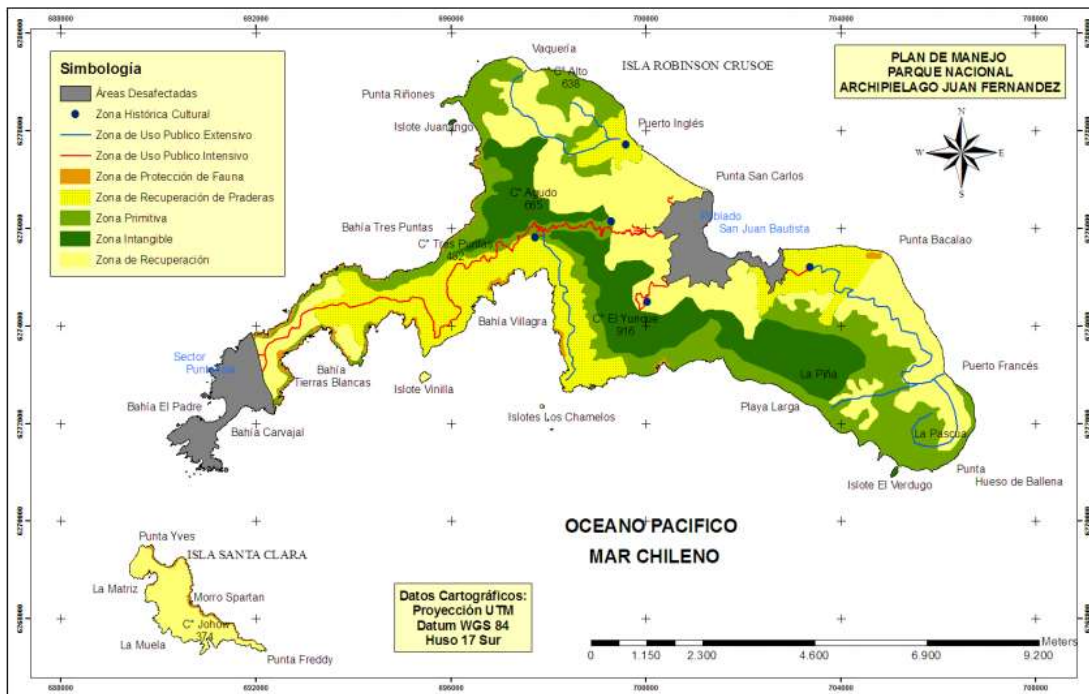
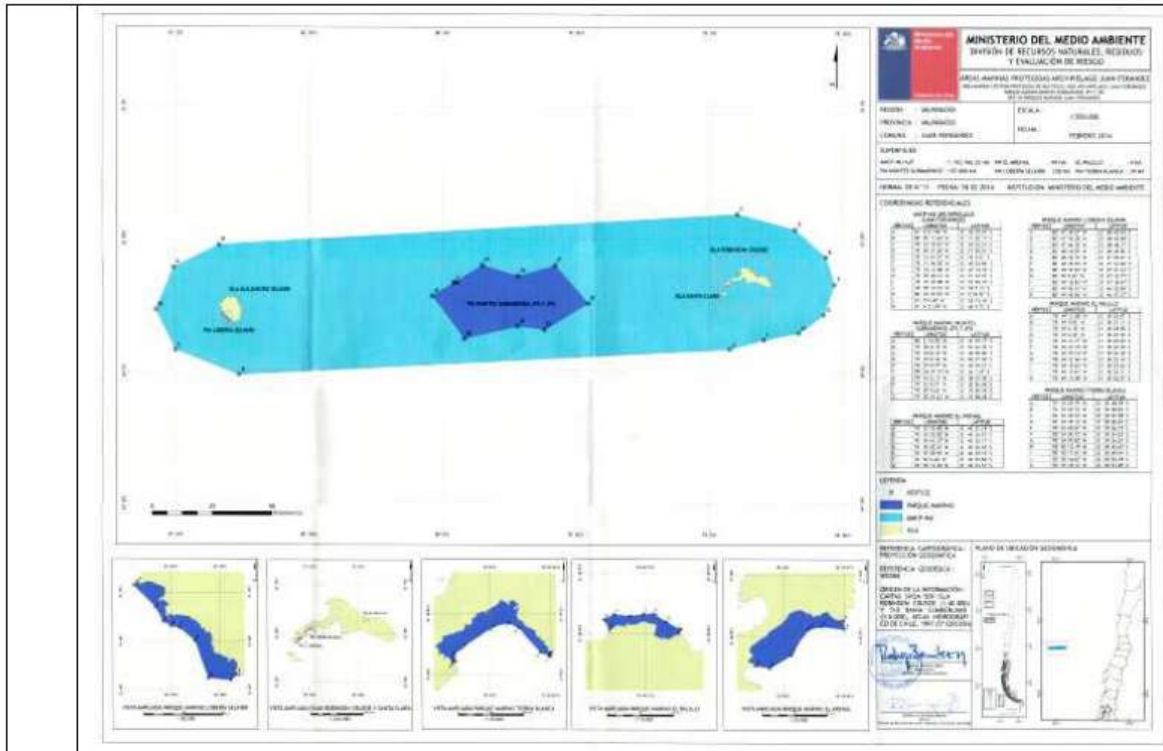


Figura 21. Parques marinos Archipiélago Juan Fernández (Fuente: Ministerio del Medio Ambiente).



2.4.2.2 Isla de Pascua

En la Isla de Pascua, el único punto de conexión obligadamente tiene que ser en las inmediaciones del sitio 5. Afortunadamente la central generadora Mataveri y su respectiva sub-estación (6,6 [kV]) se encuentran a 800 metros de este.

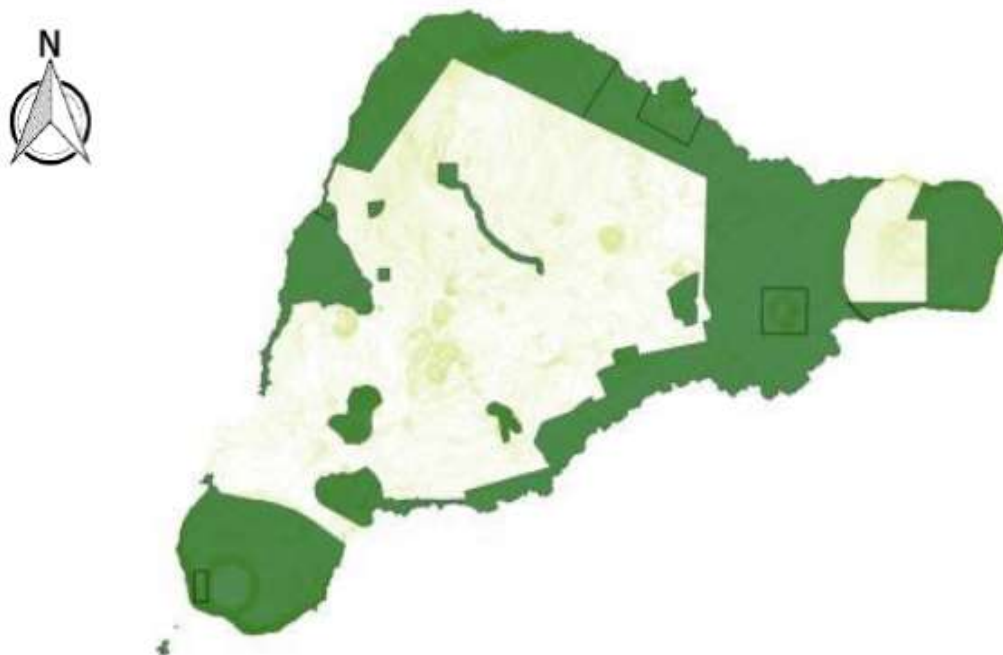
Diversos territorios de la isla poseen calificaciones de Monumento Histórico, Santuario de la Naturaleza (islotos adyacentes), Parque Nacional y Patrimonio Mundial (UNESCO), por lo que se deben evitar estos sitios. Afortunadamente, el sitio 5 se encuentra en el único sector “industrializado” de la isla, cerca de los estanques de petróleo, la central Mataveri y el cabezal de la pista del aeropuerto, zona no protegida, por lo que se podría tender una conexión mixta (agua – aire).

A continuación se presentan mapas que muestran un diagrama de la red eléctrica de la isla y las áreas que comprenden el parque nacional:

Figura 22. Diagrama de la red eléctrica de la Isla de Pascua (Fuente: SASIPA).



Figura 23. Áreas que comprenden el parque nacional de Isla de Pascua (Fuente: CONAF).



En definitiva, en Robinson Crusoe se descarta el sitio 3, y los sitios 1 y 4 deberán sortear el desafío de llevar la energía hacia los centros de consumo. Por otro lado, la conexión en Isla de Pascua es factible en el sitio 5.

Figura 24. Sitios restantes luego del análisis de conexión (Fuente: elaboración propia).

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
1	RC1	696300	6279750	30
4	RC4	704550	6270925	30

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
5	IP5	659500	6992430	30

2.4.3 Acceso a infraestructura de apoyo y logística

Los dispositivos de energía marina por lo general son grandes, pesados, complejos de instalar y mantener (especialmente los sumergidos), por lo que requieren de infraestructura de apoyo (puertos, muelles y grúas), y embarcaciones, plataformas o balsas equipadas con grúas y sistemas de posicionamiento dinámico.

2.4.3.1 Isla Robinson Crusoe

El muelle de Bahía Cumberland no cuenta con el calado suficiente para que una embarcación grande pueda atracar. Tampoco cuenta con una grúa con suficiente capacidad de carga.

Con respecto a las embarcaciones presentes en la isla, estas son pequeñas y corresponden principalmente a botes de pesca artesanal. No existen embarcaciones con los requerimientos necesarios para instalar grandes dispositivos.

A continuación se presenta una vista aérea del muelle y la caleta de Bahía Cumberland:

Figura 25. Vista aérea del muelle y la caleta de Bahía Cumberland (Fuente: Google Earth)



2.4.3.2 Isla de Pascua

Las caletas de Hanga-Roa y Hanga-Piko no tienen infraestructura, ni cuentan con el calado suficiente para que una embarcación grande atracar en ellas. Tampoco cuentan con una grúa con suficiente capacidad de carga.

Con respecto a las embarcaciones presentes en la isla, estas son pequeñas y corresponden principalmente a botes de pesca artesanal. No existen embarcaciones con los requerimientos necesarios para instalar grandes dispositivos.

A continuación se presenta una vista aérea de las caletas Hanga-Roa y Hanga-Piko:

Figura 26. Vista aérea de las caletas Hanga-Roa y Hanga-Piko (Fuente: Google Earth)



En definitiva, ninguna de las dos islas cuenta con infraestructura portuaria ni logística suficiente. Una solución puede ser utilizar los puertos continentales de la región de Valparaíso (San Antonio, Valparaíso, Ventana, etc.) y traer las embarcaciones requeridas desde otros lugares del mundo - idealmente Chile- cuando se requiera. Lo anterior es algo que se utiliza habitualmente en la industria del petróleo, gas y construcción marina, sin embargo tiene un gran costo asociado.

Otra alternativa es optar por dispositivos pequeños que requieran una logística de instalación menos compleja, como por ejemplo un dispositivo flotante que pueda ser remolcado por una embarcación mediana, para realizar en el muelle las labores de mantenimiento.

2.4.4 Concesiones marinas

Todo desarrollo de energía undimotriz requiere de una concesión marina. El procedimiento para buscar o solicitar concesiones marinas fue abordado por un asociado al proyecto, la empresa I2D Technik, y está contenido en el estudio “Informe de zonificación e instrumentos de planificación territorial del sector costero e insular de la Región de Valparaíso”(ver anexo 4A), el cual considera dentro de sus objetivos el determinar el proceso, documentos y requerimientos para solicitar una concesión marina para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz.

- En la **Isla Robinson Crusoe** no existen concesiones otorgadas en los sitios 1 y 4, por lo que no se presentarían conflictos de esta índole.
- En la **Isla de Pascua** existe dos concesiones marinas otorgadas a la FACH, precisamente en el sitio 5 (Vinapu):

Figura 27. Listado de concesiones marinas otorgadas a la FACH en Isla de Pascua (Fuente: Anexo 4A, SHOA)

N°	N° Concesión	Concesionario	Tipo	Vencimiento	Objeto	Sector Geográfico
1	919	FACH	Destinación	31-dic-25	Amparar tendido cañería para descarga de combustibles líquidos desde naves hasta plantas de almacenamiento.	Vinapu
2	989	Armada de Chile	Destinación	31-dic-25	Destinar sectores solicitados como franja de seguridad de instalaciones navales existentes en Isla de Pascua,	Punta Roa
3	5143	FACH	Destinación	31-dic-25	Amparar tendido cañerías conductoras de combustible líquido desde playa planta de almacenamiento.	Vinapu

La concesión marina de la FACH que entra en conflicto con un proyecto undimotriz en el sitio 5, es precisamente la que ampara un inmisario submarino que conduce el combustible que descargan los barcos de ENAP, hacia los estanques de almacenamiento ubicados en Vinapu. Sin perjuicio de lo anterior, el sitio 5 es extenso y estas cañerías no lo utilizan completamente, por lo que existe la posibilidad de llegar a un acuerdo y compatibilizar el uso del fondo marino.

Para revisar en detalle el listado completo de concesiones marinas de ambas islas, ver anexo 4A.

2.4.5 Conflictos por otros usos

Al instalar un dispositivo o un arreglo de dispositivos, se debe contar con un área exclusiva incompatible con otras actividades, la cual debe estar comprendida por el fondo marino y las aguas sobre este. Lo anterior implica que la energía undimotriz compite con otras actividades por el uso del espacio marítimo.

En **Robinson Crusoe**, se identificó un conflicto por el uso del fondo marino, debido a que los pescadores artesanales instalan jaulas de captura de langosta, principal actividad económica de la isla. Si bien la instalación de una jaula y un dispositivo WEC (*Wave Energy Converter*) no son compatibles, en el taller realizado en la isla (ver anexo 4B) se pudo constatar por parte de los propios pescadores locales, que ellos tienen un acuerdo de no colocar una jaula a menos de 50 metros de otra, por lo que el impacto asociado a la instalación de un dispositivo sería sobre pocas jaulas.

Por otro lado, en la **Isla de Pascua** el sitio 5 presenta un conflicto por el uso de las aguas superficiales, debido a que existen rutas de navegación por donde los barcos se aproximan a descargar el combustible. Sin perjuicio de lo anterior, existe la posibilidad de coordinar y compatibilizar el uso de estas aguas, dado que los barcos no utilizan toda su extensión para descargar el combustible.

2.4.6 Trabajo con stakeholders

Durante el presente proyecto se llevó a cabo un taller participativo con la comunidad de Juan Fernández, en el cual se sensibilizó a los participantes con respecto al funcionamiento del sistema eléctrico actual, versus las alternativas de generación eléctrica renovable, posicionando a la energía marina como una alternativa a considerar. Para revisar en detalle el informe de este taller “Oportunidades y desafíos para la sustentabilidad energética en Juan Fernández” (anexo 4B)

2.4.7 Análisis económico

Una vez concluido el desarrollo de sitios, se envió esta información a un *pool* de desarrolladores internacionales, considerados dentro de los líderes de la industria, a quienes se les solicitó modelar los costos de capital (CAPEX), costos de operación y mantenimiento (OPEX), y energía anual generada [MWh/año], bajo las condiciones locales de los sitios identificados en las islas.

Dos desarrolladores estuvieron dispuestos, bajo un acuerdo de confidencialidad (NDA), a entregar toda la información requerida, la cual servirá para calcular el costo nivelado de la energía (LCOE), indicador sobre el que se basa el presente análisis económico.

$$\text{LCOE } [\$/\text{MWh}] = [\text{NPV}(\text{CAPEX} + \text{OPEX}) / \text{NPV}(\text{Energía generada})]$$

Para el cálculo de este indicador se determinó el valor presente considerando un plazo (vida útil) de 20 años, a una tasa de descuento definida para la industria del 10% (Ocean Energy: Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities, SI Ocean, 2014).

Este análisis busca determinar si existe un beneficio (o un perjuicio) económico al implementar un sistema de generación undimotriz, utilizando un método de comparación entre el costo de la energía (COE) de la situación base (actual), con el costo nivelado de la energía generada (LCOE) a través en un dispositivo o un arreglo de dispositivos undimotrices. Para sentar una base comparativa se diseñaron dos escenarios:

Escenario Robinson Crusoe: Debido a que la demanda de la isla es pequeña, el escenario base consiste en instalar un sólo dispositivo de cada desarrollador. Además, se consideran tres escenarios para el recurso energético, asociados a distintos factores de planta (FP1, FGP2 y FP3), y finalmente se establecen tres escenarios futuros tecnológicos (optimista, base y pesimista).

Escenario Isla de Pascua: La demanda de la Isla de Pascua es aproximadamente 14 veces la de Robinson Crusoe, es por esto que el escenario base consiste en instalar un arreglo de dispositivos de 2 [MW] de capacidad instalada para el caso de cada desarrollador. Al igual que en Robinson Crusoe, se consideran tres escenarios para el recurso energético, asociados a distintos factores de planta (FP1, FGP2 y FP3), y finalmente se establecen tres escenarios futuros tecnológicos (optimista, base y pesimista).

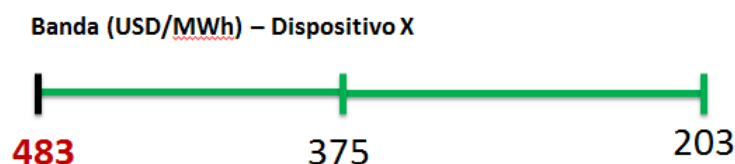
Para cada una de las combinaciones de estos dos escenarios se obtuvo un valor de LCOE, lo cual permite generar una banda de precios para cada escenario, por cada desarrollador (dispositivo). Cada una de estas bandas de precios está acotada inferiormente (menor costo) por el escenario con mayor factor de planta y mayor desarrollo tecnológico, y superiormente (mayor costo) por el escenario con peor factor de planta y menor desarrollo tecnológico.

2.4.7.1 Resultados Isla Robinson Crusoe

Al instalar un dispositivo (X), se puede abastecer al 30% de la demanda de energía eléctrica de la isla, se desplazan 100.000 litros de diésel al año y se reducen las emisiones en 285 toneladas de CO₂/año.

El costo de la energía (COE) en Robinson Crusoe asciende a 483 [USD/MWh], por lo que si consideramos que la banda de LCOE está comprendida en el rango de 203 - 375 [USD/MWh], esta tecnología lograría un beneficio económico inclusive en el escenario más pesimista. Además, se deben considerar los beneficios medio ambientales y sociales derivados de la reducción de emisiones, reducción del riesgo de derrame, aumento de la autonomía de los habitantes y desarrollo económico local asociado a la construcción y operación de la planta.

A continuación se presenta una gráfica que permite apreciar mejor los resultados:



Al instalar un dispositivo (**Z**), se puede abastecer al 100% de la demanda de energía eléctrica de la isla, se desplazan 300.000 litros de diésel al año y se reducen las emisiones en 850 toneladas de CO₂/año.

El costo de la energía (COE) en Robinson Crusoe asciende a 483 [USD/MWh], por lo que si consideramos que la banda de LCOE está comprendida en el rango de 522 - 1210 [USD/MWh], esta tecnología no lograría un beneficio económico inclusive en el escenario más optimista. Además, las dimensiones de este dispositivo hacen que con una unidad generadora se pueda abastecer a toda la isla, por lo que probablemente la red eléctrica no sería capaz de soportar dicha cantidad de carga. Sin perjuicio de lo anterior, este problema se superaría al implementar una solución de almacenamiento, sin embargo el proyecto sería aún menos competitivo en costos. Igualmente se deben considerar los beneficios medio ambientales y sociales derivados de la reducción de emisiones, reducción del riesgo de derrame, aumento de la autonomía de los habitantes y desarrollo económico local asociado a la construcción y operación de la planta.

A continuación se presenta una gráfica que permite apreciar mejor los resultados:

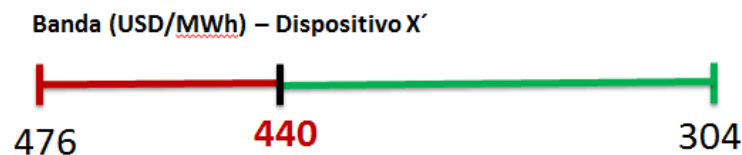


2.4.7.2 Resultados Isla de Pascua

Al instalar un arreglo de 2 [MW] de dispositivos X'' (X prima)³, se puede abastecer al 40% de la demanda de energía eléctrica de la isla, se desplaza 1.000.000 litros de diésel al año y se reducen las emisiones en 4.500 toneladas de CO₂/año.

El costo de la energía (COE) en Pascua asciende a 440 [USD/MWh], por lo que si consideramos que la banda de LCOE está comprendida en el rango de 304 - 476 [USD/MWh], esta tecnología lograría un beneficio económico únicamente en los escenarios optimistas. Para complementar este análisis se pueden cuantificar los beneficios medio ambientales y sociales derivados de la reducción de emisiones, reducción del riesgo de derrame, aumento de la autonomía de los habitantes y desarrollo económico local asociado a la construcción y operación de la planta.

A continuación se presenta una gráfica que permite apreciar mejor los resultados:



Al instalar un arreglo de 2 [MW] de dispositivos (**Z**), se puede abastecer al 35% de la demanda de energía eléctrica de la isla, se desplazan 910.000 litros de diésel al año y se reducen las emisiones en 4.000 toneladas de CO₂/año.

El costo de la energía (COE) en Pascua asciende a 440 [USD/MWh], por lo que si consideramos que la banda de LCOE está comprendida en el rango de 306 - 611 [USD/MWh], esta tecnología lograría un beneficio económico únicamente en los escenarios optimistas. Para complementar este análisis se pueden cuantificar los beneficios medio ambientales y sociales derivados de la reducción de emisiones, reducción del riesgo de derrame, aumento de la autonomía de los habitantes y desarrollo económico local asociado a la construcción y operación de la planta.

A continuación se presenta una gráfica que permite apreciar mejor los resultados:



2.4.8 Cadena de suministro

Con la intención de reducir los costos de implementar esta tecnología, e impulsar nuevas actividades económicas en el país, se propone comenzar a desarrollar una cadena local de suministros que pueda atender las necesidades y requerimientos de la industria de las energías marinas.

En Chile existe una relación de larga data con el mar, lo cual nos ha llevado a tener conocimiento y capacidades bien consolidadas, presentes en las industrias pesquera, portuaria y marítima, que son compatibles con las requeridas por la industria de las energías marinas. Si bien existen aspectos de la cadena de suministros que no podrán ser provistos por empresas chilenas, como por ejemplo piezas de alta tecnología (*power take off*), existen otros eslabones de la cadena asociados a productos o servicios como estudios oceanográficos, estudios de ingeniería, estudios medio ambientales, construcción estructura o casco de dispositivos, instalación, logística y obras civiles, mantenimiento, entre otros.

Con la intención de aportar a lo propuesto anteriormente, la empresa asociada al proyecto Renewable Energy Development Enterprise (REDE), ha desarrollado un catastro de actores que tienen capacidades e interés en formar parte de esta cadena de suministros. Entre ellos se encuentran todo tipo de instituciones y empresas, entidades públicas, académicas, estudios de abogados, oficinas de proyectos, empresas de oceanografía, maestranzas, astilleros, entre otras. Si se desea revisar en detalle el “Mapeo y catastro de actores o potenciales actores asociados a la industria de las Energías Marinas”, ver anexo 4C.

2.4.9 Conclusiones del Capítulo 2: Desarrollo y caracterización de sitios compatibles

Luego de realizar un análisis de los sectores insulares (Robinson Crusoe y Pascua), considerando diversos aspectos involucrados en el desarrollo de sitios atractivos para proyectos de energía undimotriz, se puede concluir que:

- I. En el caso de **Robinson Crusoe**, existen oportunidades para implementar un dispositivo de tamaño pequeño o mediano, que tenga una capacidad instalada en torno a los 100 [kW] para ser conectado a la red, alimentar un consumo *off-grid*, o un mix de ambos. Debido a que no existe infraestructura de apoyo ni logística adecuada en la isla, el dispositivo debe ser desplegado y replegado de forma sencilla (modular), o bien debe ser robusto con baja frecuencia de mantenimiento (bajo opex).

Sin duda el gran desafío en la isla es resolver la conducción de energía desde el sitio de generación hasta el punto de consumo (conexión a la red). Si el punto de generación se aproxima hacia el centro de consumo, inevitablemente se ingresa en una zona de poca disponibilidad energética (sombra de la isla), sin embargo sí se puede acercar el punto de consumo al de generación (sitios 1 y 4), para alimentar a una solución particular (*off-grid*) como por ejemplo una planta de procesamiento de langosta (desarrollo económico local).

Si bien los dispositivos undimotrices analizados tienen un LCOE de entre 5 a 10 veces el de otras tecnologías renovables, los costos actuales de generación diésel son tan elevados, que igualmente se puede generar un beneficio económico, medio ambiental y social, al aprovechar el potencial de energías marinas de la isla.

- II. En el caso de la **Isla de Pascua**, existen oportunidades para instalar un dispositivo, o un arreglo de ellos, que puedan conectarse a la red o bien alimentar un consumo *off grid*. Debido a que no existe infraestructura de apoyo ni logística adecuada en la isla, el dispositivo debe ser desplegado y replegado de forma sencilla (modular), o bien debe ser robusto con baja frecuencia de mantenimiento (bajo opex).

El sitio 5 resulta ser un lugar atractivo para albergar un proyecto undimotriz, dado que hay un buen recurso, la batimetría de los 30 [m] le es favorable, no está dentro de zonas de protección, existe un punto de conexión cercano a la red que tampoco tiene conflictos con zonas de protección, y el ordenamiento territorial le asigna una zona portuaria. Sin perjuicio de lo anterior, el gran desafío será lograr compatibilizar el uso del fondo marino y las aguas inmediatas, con las maniobras de descarga de combustible (navegación).

- III. Con respecto a la cadena de suministros, existe la oportunidad de aprovechar las capacidades presentes en muchas empresas tanto nacionales como de la V Región, pertenecientes a las industrias pesquera, marítima y portuaria, para satisfacer las necesidades y requerimientos de la industria de las energías marinas. Lo anterior contribuye directamente a crear puestos de trabajo, innovación, desarrollo económico, nuevas capacidades humanas, entre otros beneficios sociales y medio ambientales.

Conclusiones del proyecto

A continuación se presentan las conclusiones globales del proyecto:

- I. Si bien las energías marinas están en un estado menos avanzado que las otras ERNC y su desarrollo tecnológico es insipiente, este es un primer esfuerzo que nos permitirá trazar el camino para que en el corto – mediano plazo, nuestro país pueda generar energía a través de las olas del mar.
- II. Existen oportunidades para el desarrollo de la energía marina en la región de Valparaíso, particularmente en el sector insular comprendido por las islas Robinson Crusoe y Pascua. En ambas islas existen sitios compatibles con proyectos de esta índole, sin embargo se deben sortear los desafíos de evacuar la energía en el caso de Robinson Crusoe, y compatibilizar el uso del espacio marino con la navegación y descarga de combustible para el caso de Pascua.
- III. Los altos costos de la energía en los sectores insulares permiten que un proyecto undimotriz sea económicamente competitivo en comparación con la situación base, por lo que además de desplazar combustible diésel, se puede generar un beneficio económico para el estado.
- IV. El desarrollo de un proyecto ERNC en los sectores insulares tiene un impacto potencial muy grande en relación a la protección del medio ambiente, reducción de emisiones, creación de empleo, independencia y autonomía, desarrollo económico y bienestar social.
- V. Gracias al desarrollo de este proyecto se logró formar a profesionales jóvenes, crear nuevas capacidades, aprovechar las capacidades de la ingeniería nacional y crear redes de contacto para dar los primeros pasos hacia la formación de una cadena local de suministros que atienda las necesidades de la industria de las energías marinas en la región.
- VI. Se estableció un equipo de profesionales pertenecientes al sector público, privado y académico, en el cual se dio una interacción y transferencia de conocimientos muy provechosa.
- VII. Se logró trabajar con actores locales y sensibilizarlos acerca del funcionamiento de los sistemas actuales de generación en la isla versus alternativas renovables, posicionando a la energía marina como una alternativa a considerar (anexo 4B).
- VIII. Se logró dar visibilidad al tema de las energías marinas y al proyecto FIC Valparaíso en general, a través de tres seminarios (lanzamiento y clausura), además de diversas publicaciones en prensa especializada, medios de comunicación masivos y redes sociales (anexo 5).

Referencias

1. Biblioteca del Congreso, 2012, Comparación de precios de la electricidad en Chile y países de la OCDE y América Latina
2. Biblioteca del Congreso, marzo de 2004, Ley General de Servicio Eléctricos N° 19.940
3. Chilquinta, 2014, Memoria anual
4. CONAFE, 2014, Memoria anual
5. Ilustre Municipalidad de Juan Fernández, 2015, Dossier con información sobre el sistema eléctrico
6. I. Municipalidad de Juan Fernández, 2015, Planilla de costos del sistema eléctrico
7. FCFM, 2015, Elaboración de propuesta energética para Isla de Pascua
8. ENAP, 2014, Memoria anual
9. SASIPA, 2015, Proyección de demanda y catastro de inversiones
10. Biblioteca Nacional del Congreso, 1986, Ley 18502
11. Biblioteca Nacional del Congreso, 1987, Ley 18674
12. Biblioteca Nacional del Congreso, 2014, presupuesto de la nación
13. SASIPA, 2015, Análisis financiero razonado
14. Ministerio de Energía, 2014, Licitación de suministro
15. Sitio web: www.energíaabierta.cl, 2015
16. ANCARE Energy, 2014, Estudio del sistema eléctrico de media y baja tensión de la comuna de Juan Fernández
17. SI Ocean, 2014, Ocean Energy: Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities
18. INE, 2012, Censo 2012
19. Black & Veatch - Carbon Trust, 2005, Significant Impact Factor (SIP)
20. CDEC-SIC, 2013, Memoria Anual
21. CDEC-SIC, 2014, Memoria Anual
22. CDEC-SIC, 2015, Composición de la capacidad instalada
23. CDEC-SIC, 2015, Proyección del costo marginal del sistema
24. Celulosa Arauco, 2014, Comercialización de atributos ERNC de la central de biomasa Celulosa Arauco
25. Central Energía, 2015, Sitio web: www.centralenergía.cl/biblioteca/glosario-mercado-eléctrico
26. CNE, 2004, Ley Corta I N° 19.940
27. CNE, 2005, Ley Corta II N° 20.018
28. CNE, 2013, Instalaciones de Transmisión por Sistema Eléctrico Nacional
29. CNE, abril 2015, Precio de la potencia punta

30. CONAMA, 2007, Impacto Ambiental de las ERNC
31. Electric Power Research Institute, 2006, EPRI-TP-007-NA
32. Herrera, B., 2006, Oportunidad de generación para fuentes no tradicionales
33. Ministerio de Energía, 2012, Estrategia Nacional de Energía 2030
34. Ministerio de Energía, 2014, Precios de la energía en Chile
35. Ministerio de Energía, mayo 2015, Precio Medio de Mercado (PMM) SIC
36. Ministerio de Medio Ambiente, 1994, Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente
37. Ministerio de Obras Públicas, 1988, D.S. N° 660 Reglamento sobre Concesiones Marítimas
38. Ministerio de Obras Públicas, 1994, D.S. N°475

Anexos

Anexo 1: “Informe I: Levantamiento de necesidades energéticas”

Anexo 2: “Informe II Balance Energético”

Anexo 3A: “Evaluación del recurso energético asociado al oleaje en la Isla de Pascua e Isla Robinson Crusoe”

Anexo 3B: “Levantamiento batimétrico exploratorio en la Isla Robinson Crusoe, V Región”

Anexo 4A: “Informe de zonificación e instrumentos de planificación territorial del sector costero e insular de la Región de Valparaíso”

Anexo 4B: “Taller: Oportunidades y desafíos para la sustentabilidad energética de Juan Fernández”

Anexo 4C: “Mapeo y catastro de actores o potenciales actores asociados a la industria de las Energías Marinas”

Anexo 5: “Informe de actividades de difusión del proyecto”

Anexo5A: “Indicadores de seminario de cierre”