

**Recomendaciones para la Estrategia
de Energía Marina de Chile: un plan
de acción para su desarrollo**

Proyecto P478 – Marzo 2014



Embajada Británica
Santiago

www.aquaterra.co.uk

Este estudio fue financiado por:

UK Foreign & Commonwealth Office
British Embassy
Av. El Bosque
Casilla 16552
Santiago
Chile

Contacto: Felipe Osses
Teléfono: +56 9 8208 7238
E-mail: felipe.osses@fco.gov.uk

Este estudio fue elaborado por:

Aquatera Limited
Stromness Business Centre
Stromness
Orkney
KW16 3AW

Director de Proyecto: Gareth Davies
Jefe de Proyecto: Tom Wills
Teléfono: 01856 850 088
Fax: 01856 850 089
E-mail: office@aquatera.co.uk / tom.wills@aquatera.co.uk

Registro de revisiones

Número de revisión	Fecha	Detalles de la revisión
1	31/03/14	Primera edición

Agradecimientos

Este estudio se realizó por encargo de la Embajada Británica en Santiago, y fue desarrollado por Aquatera en colaboración con la División de Energías Renovables del Ministerio de Energía de Chile y el Centro de Energías Renovables (CER). Contó con el apoyo de RODA Energía, Alakaluf Ltda, BZ Naval Engineering y ON Energy.

Debemos dar agradecimientos especiales al Ministerio de Energía y los Secretarios Regionales Ministeriales para la cartera, SEREMIS, que brindaron su apoyo en la organización de los talleres de consulta regional. El desarrollo de las recomendaciones contenidas en este informe no habría sido posible sin la participación de más de doscientas personas e instituciones involucradas en este proceso de consulta.

También, queremos agradecer al personal del Centro de Energías Renovables y del Ministerio del Medio Ambiente por la información y el apoyo brindados durante el desarrollo de este reporte. La contribución de los miembros de la Asociación para el Desarrollo de Energías Marinas de Chile, ADEMAR, también, ha sido invaluable. Asimismo, le debemos un reconocimiento a Baird & Associates por proporcionarnos la información sobre el recurso de olas usada en los mapas regionales.

Finalmente, debemos brindar un agradecimiento especial a la Embajada Británica en Santiago por el financiamiento de este proyecto mediante el Fondo para la Prosperidad de la Oficina de Extranjería y Commonwealth, y por su apoyo durante todo este proyecto.

Introducción

La posibilidad de que Chile produzca una cantidad significativa de energía renovable a partir de las olas y las mareas ha generado cada vez más interés, tanto nacional como internacionalmente durante los últimos años, el cual ha sido potenciado por los niveles de recursos energéticos disponibles en Chile, el reciente progreso tecnológico internacional, además de la visión, la motivación y el compromiso de algunas organizaciones y personas. Los beneficios esperados del desarrollo económico local de la implementación de energía marina también han logrado un creciente interés, pero dada la temprana etapa en la que se encuentra el desarrollo de tecnologías de energía undimotriz y mareomotriz, existen diversos desafíos a superar antes de llevar a cabo proyectos comerciales en Chile. A pesar que esto puede tomar tiempo, existe una sensación de urgencia por definir cuál podría ser la contribución eventual de la energía marina a la matriz energética de Chile, y cuál es el rol que Chile desea jugar en el desarrollo de la energía marina actualmente.

Este estudio combina el conocimiento sobre la situación energética en Chile con la experiencia y el conocimiento obtenidos durante más de una década de actividad internacional en la energía marina, especialmente en Orkney, Reino Unido, donde se han implementado 20 dispositivos para la energía undimotriz y mareomotriz, y otorgado 11 áreas de uso comercial. Mucho se ha logrado en el Reino Unido, pero también, se han aprendido muchas lecciones. El objetivo de este estudio es aprovechar el conocimiento colectivo para proponer pasos que ayuden a maximizar el potencial de la energía marina en Chile.

Situación energética en Chile

Para hacer frente a las presiones de la creciente y rápida demanda de electricidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el modelo energético mundial sufrirá una revolución durante los próximos años. Por otro lado, Chile se debe enfrentar a sus propios problemas específicos, como la volatilidad de los precios relativamente altos de la electricidad y la baja seguridad energética, dada la dependencia de combustibles fósiles (Nótese el efecto de la reducción de las importaciones de gas entre el año 2005 y 2007 en relación al costo en la Figura 1). Además, la disminución de las lluvias también amenaza la capacidad de energía hidroeléctrica para proveer electricidad de carga base. Los recientes aumentos en la demanda se han cumplido con el carbón y el gas natural licuado importado, como se muestra en la Figura 1.

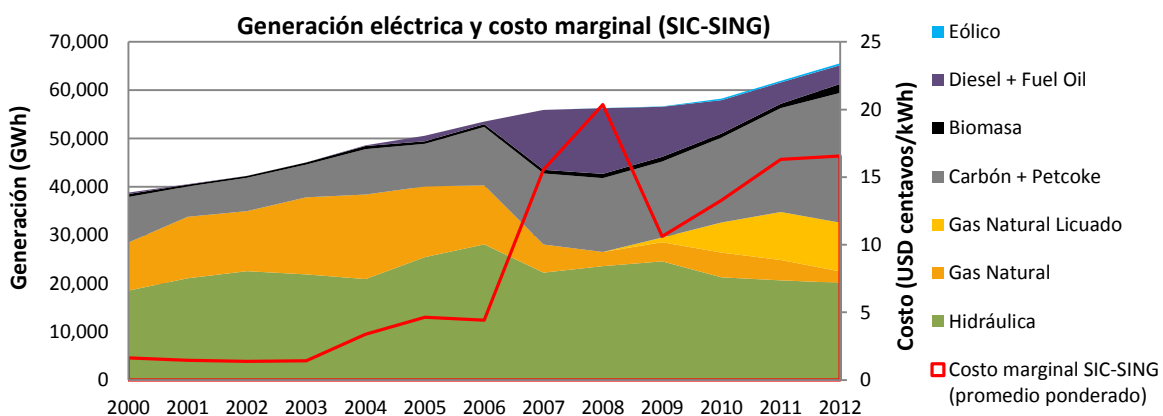


Figura 1: Matriz de generación y costo de electricidad en el mercado spot en Chile

El mercado de la electricidad en Chile está liberalizado, y opera en base al modelo de menor costo marginal. Existen incentivos y metas para las Energías Renovables No Convencionales (ERNC)¹, que recientemente se han incrementado, sin embargo, son tecnológicamente neutrales y no están dirigidos a apoyar tecnologías precomerciales como la energía undimotriz y mareomotriz.

Metodología del proyecto

Este es un estudio principalmente teórico, respaldado por un proceso de consulta en varias regiones de Chile, y con la participación de actores relevantes en la industria. El proyecto se organizó con la intención de recopilar y entregar información relacionada al desarrollo de la energía marina, y se realizó en colaboración con el Ministerio de Energía, como un aporte al desarrollo de la estrategia para la energía marina de Chile.

El equipo principal del proyecto se compone de personas que participan activamente en el desarrollo de la energía marina en el mundo. Este equipo ha contado con el apoyo de especialistas chilenos, quienes cuentan con un excelente conocimiento de los procesos y los problemas locales.

Este proyecto incluyó la participación de más de 200 organizaciones y personas mediante entrevistas y talleres realizados en nueve de las quince Regiones de Chile, con el fin de delinear recomendaciones para el desarrollo de la energía marina en Chile. Este proyecto, también, se nutrió del conocimiento y la experiencia internacional del desarrollo de energía marina renovable en alrededor de 15 países, especialmente de Orkney, Escocia y el Reino Unido, probablemente las principales áreas para el desarrollo de la energía marina en el mundo.

A comienzos de 2013, se acordó llevar a cabo un registro de actores relevantes en conjunto con el Ministerio de Energía y otros socios del proyecto. Estas personas y organizaciones fueron contactadas, y luego se publicó una notificación sobre el inicio del proyecto en el sitio web del Centro de Energías Renovables (CER). Se invitó a las partes interesadas a llenar un cuestionario preliminar y registrarse para participar en el programa de eventos de consultas.

Se realizaron talleres o entrevistas de consulta regional en nueve de las quince Regiones de Chile (ver Figura 2), además de talleres temáticos en las siguientes áreas:

- Financiamiento y mecanismos de apoyo financiero
- Marco normativo
- Infraestructura y cadena de abastecimiento
- Red eléctrica
- Medio Ambiente (en el marco de un proyecto de Pontificia Universidad Católica de Chile y FONDEF)
- Investigación y Desarrollo (reuniones individuales con 10 universidades y centros de I+D chilenos)

ADEMAR, la Asociación para el Desarrollo de Energías Marinas de Chile, colaboró con información detallada en diversas ocasiones, recibiendo actualizaciones sobre el progreso de manera mensual.

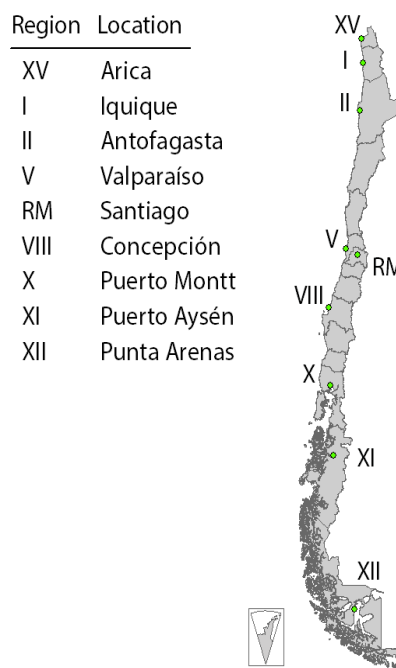


Figura 2: Ubicaciones de los eventos de consulta

¹ Definido por el Gobierno de Chile como excluyente de proyectos hidroeléctricos mayores a 20 MW de potencia instalada.

Por último, una delegación de representantes del Ministerio de Energía, el Centro de Energías Renovables y el Ministerio del Medio Ambiente realizó una misión técnica para conocer a sus pares en el Reino Unido, visitar el Centro Europeo de Energía Marina (EMEC) y ver dispositivos de energía marina en el agua, así como entender los problemas y las oportunidades asociadas. En paralelo a estas actividades, Aquatera y otros socios del proyecto realizaron un estudio comparativo sobre el desarrollo actual de la energía marina a nivel internacional y su potencial en Chile. Finalmente, se cotejaron y analizaron los resultados de los eventos de consultas y el estudio comparativo.

¿Por qué la energía marina?

Escala

Tal como se ha demostrado en estudios anteriores (E&A/UoE, 2012), (Garrad Hassan, 2009), Chile tiene un considerable potencial para generar energía a partir de las olas, y en menor grado, de las mareas. Los recursos de energía renovable de Chile sobrepasan largamente la demanda actual de electricidad (ver Figura 3). Además la energía de olas y mareas son cada vez más reconocidas, junto a otras formas de energías renovables, como alternativas sustentables al carbón, diesel y gas, para un suministro energético nacional independiente.

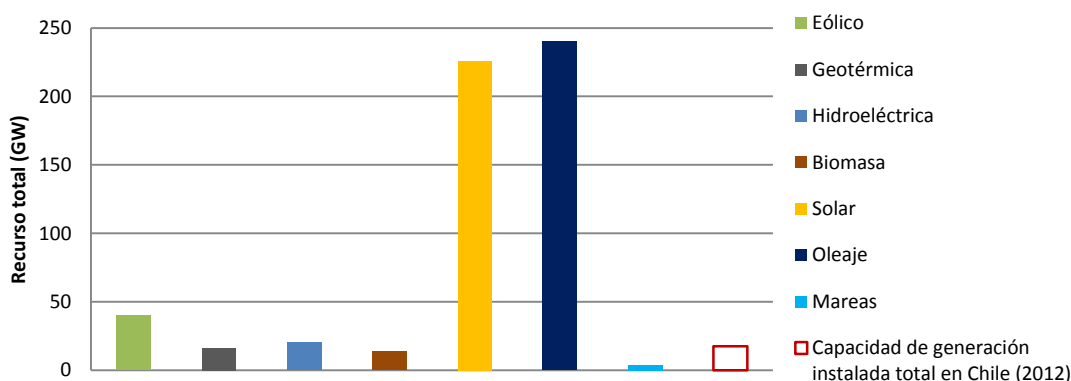


Figura 3: Recursos de energía renovable totales de Chile versus la capacidad de generación actual
 Fuentes: Centro de Energías Renovables; Baird & Associates S.A.

La energía undimotriz es el recurso renovable más importante de Chile. Se estima que el potencial teórico bruto es de 240 GW según un estudio realizado por Baird & Associates S.A., y la actividad del oleaje es lo suficientemente intensa como para producir energía en toda la costa del Pacífico. Se podría decir que Chile es el mejor lugar del mundo para la generación de energía undimotriz, con más de 4.000 km de costa expuesta a constantes oleajes de alta energía, además de concentrar toda la demanda de energía en la costa o relativamente cerca de ella, debido a la angosta geografía del país. Los niveles de energía promedio varían entre 20 kW/m en el norte de Chile a 50 kW/m en Los Lagos. Más hacia el sur, los niveles de energía en mar adentro son incluso más altos, sin embargo, potenciales proyectos presentarían más dificultades en estas áreas debido a su inaccesibilidad en ambientes extremos.

Los recursos de energía mareomotriz también son importantes, pero equivalen a una pequeña fracción del tamaño total de los recursos undimotrices. Las mayores corrientes de mareas se encuentran en el estrecho de Magallanes (velocidades de 8 a 9 nudos) y en el canal de Chacao (velocidades de 7 nudos) cerca de Puerto Montt. Sin embargo, se pueden encontrar corrientes de mareas menores, pero aprovechables, en cerca de 20 ubicaciones específicas en todo el sur de Chile. Estos recursos no se han estudiado en detalle, y es necesario tener una mayor comprensión de ellos. Como se muestra en la Figura 4 las olas y las mareas son fuentes de energía más densas

que la energía eólica y solar, por lo que es posible generar más energía desde un área más pequeña. Otras características se presentan a continuación.

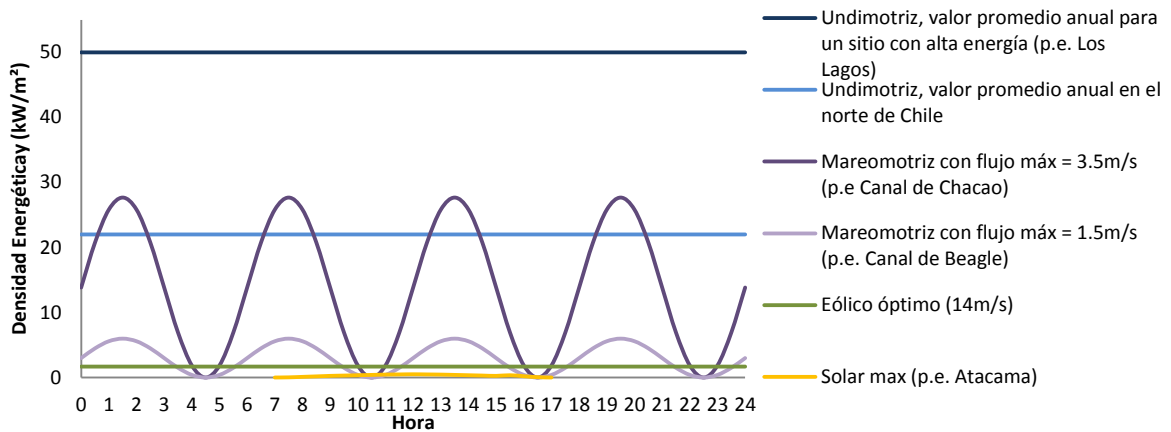


Figura 4: Variación diaria ideal en la densidad de energía para fuentes de energía renovable en Chile

Disponibilidad

La variabilidad de producción en el tiempo es una de las características típicas de las energías renovables, generalmente conocida como factor de planta². A continuación, (ver Figura 5) se presentan los valores típicos de factor de planta para las fuentes de energía renovable en Chile.

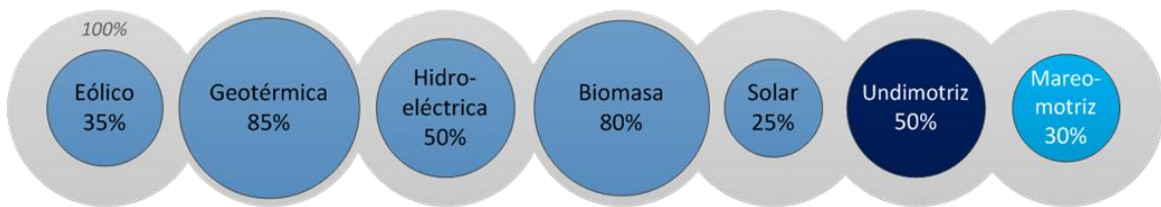


Figura 5: Factores de planta típicos para la energía renovable en Chile

Los factores de planta para proyectos de energía undimotriz en Chile se encuentran entre los más altos en el mundo, debido a la alta consistencia de las olas (Monárdez, et al., 2008). Sin embargo, esto supondrá un desafío para las operaciones marinas en la instalación y el mantenimiento de dispositivos. Por otra parte, es posible pronosticar el momento y los niveles de energía con que las olas llegan a la costa chilena con días de anticipación y con mayor precisión que, por ejemplo, la velocidad del viento, por lo que se espera que los factores de planta para los generadores de energía mareomotriz alcancen el 30%, debido a los periodos de inactividad (generalmente 4 veces por día) experimentados cuando el flujo se revierte entre mareas altas y bajas. Como se muestra en la Figura 4, la energía undimotriz y eólica pueden mantenerse (aunque variando) durante días, o incluso semanas, en cambio la energía de las corrientes de mareas se detiene periódicamente cuando la corriente retrocede. Sin embargo, como se dijo anteriormente, la principal ventaja de la energía mareomotriz es que estas variaciones son altamente predecibles.

Los generadores de energía undimotriz y mareomotriz pueden producir energía en horas de oscuridad (a diferencia de la energía solar), y no fluctúan al mismo ritmo que la energía eólica, pero no son tan controlables como la energía hidroeléctrica. Por lo tanto, la energía marina puede contar con ventajas importantes para equilibrar los requerimientos de energía y podría trabajar en

² El factor neto de planta (o capacidad) de una planta generadora de energía corresponde a la proporción entre su producción real y su producción máxima durante un periodo determinado, generalmente de un año. Nótese que los factores de planta para la energía solar (y otras) pueden ser mayores con almacenamiento energético.

conjunto con sistemas de bombeo para almacenamiento de agua. Además, los recursos energéticos marinos se pueden encontrar en áreas costeras aisladas donde el acceso a la energía y/o el agua potable son limitados y costosos.

Estado actual de la tecnología

Las tecnologías de energía undimotriz y mareomotriz se encuentran en una etapa de desarrollo precomercial, y el costo de la energía producida a partir de estas fuentes es superior a la electricidad en los sistemas de Chile (ver Figura 6). La tecnología de energía mareomotriz presenta un mayor desarrollo que la energía undimotriz, y se estima que su costo de generación es menor en la actualidad. Esto se puede entender, en parte, comparando sus principios de funcionamiento. Todos los dispositivos de energía mareomotriz exitosos generan electricidad a partir de turbinas giratorias en flujo. En este sentido, son similares a las turbinas eólicas, y por lo tanto la energía mareomotriz se ha favorecido de la transferencia de tecnología desde esa industria. Por otro lado, el desafío de la energía undimotriz es generar electricidad a partir de oscilaciones de baja velocidad y de alta potencia; lo cual es un problema más complejo con una gama más diversa de soluciones de conversión energética.

El hecho de que la energía marina aún no se ha comercializado, significa que Chile tiene la oportunidad de jugar un papel relevante en su desarrollo y establecer una capacidad de fabricación que sería difícil de lograr en industrias más consolidadas, como la energía eólica y solar, donde el equipamiento es principalmente importado. Existen áreas específicas para el desarrollo de la energía marina que han recibido menor atención hasta ahora, y donde Chile podría alcanzar un rol de liderazgo; por ejemplo en la desalinización, el bombeo de agua, o el desarrollo de sistemas pequeños para comunidades aisladas.

El progreso significativo en las tecnologías de energías renovables marinas comenzó hace unos 10 años, y ciertas tecnologías de primera generación tienen un costo de desarrollo asociado de entre USD 50 millones y USD 100 millones. La inversión en este desarrollo contribuye a establecer el costo comercial de las tecnologías, de esta forma, la siguiente generación de dispositivos de energía marina tendrá menores costos e importantes mejoras de rendimiento. Los posibles costos de la energía marina comparados a los precios de la energía en Chile se muestran en la Figura 6.

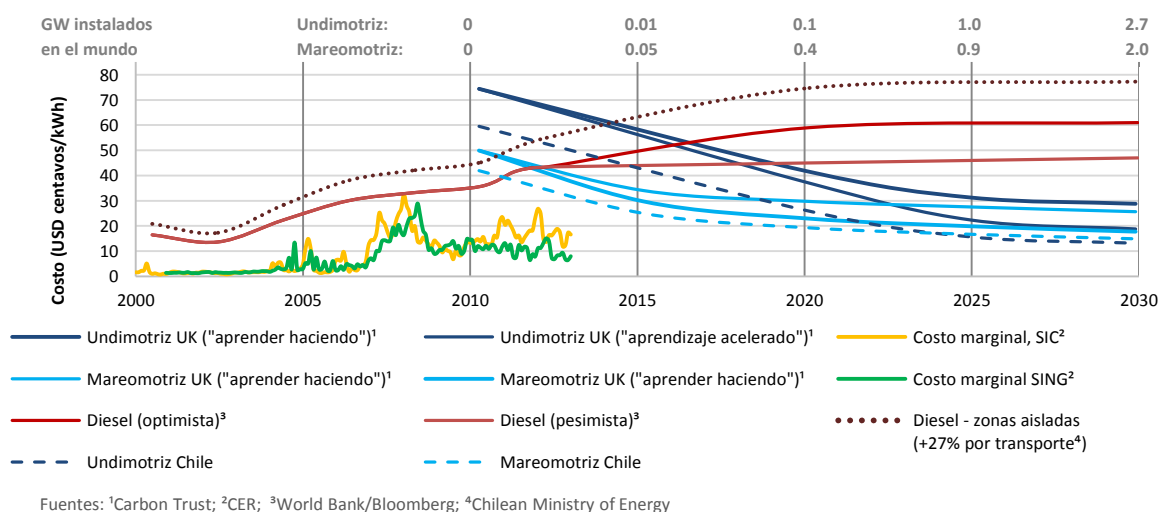


Figura 6: Precios de mercado spot eléctrico en Chile comparados con los costos nivelados de generación undimotriz, mareomotriz y por diesel

Costo de la energía

El equilibrio entre costos, ingresos, condiciones comerciales y alternativas competitivas, determinará la viabilidad comercial de una tecnología en una determinada ubicación. Existen condiciones particulares en Chile que vale la pena considerar para mantener este equilibrio. Tanto el costo de la tecnología undimotriz y mareomotriz como las condiciones comerciales, pueden ser muy diferentes en Chile, e incluso en cada región, en comparación a otros países. Por ejemplo:

- El costo de la fuerza laboral en Chile es más bajo que en el Reino Unido, por lo tanto, los proyectos se podrían desarrollar a un costo menor.
- El costo de embarcaciones generales, tripulación y buzos, también es menor en Chile que en muchos otros mercados.
- Existen varias zonas de libre comercio, además de incentivos tributarios en los extremos norte y sur de Chile.
- Los sitios que presentan mareas en Chile se encuentran más protegidos contra olas y elementos flotantes o en suspensión (hielo/árboles/sedimento) que otras en zonas como Pentland Firth en el Reino Unido o la Bahía Fundy en Canadá, lo que también tenderá a reducir costos de construcción, instalación y mantenimiento.
- Es posible que la instalación y el mantenimiento de dispositivos de energía undimotriz en Chile suponga un mayor desafío que en otras áreas debido a la incesante acción de las olas y la pendiente pronunciada del fondo marino, pero esto se verá compensado por el aumento importante en la producción.

Basado en el estudio comparativo entre Chile y el Reino Unido realizado como parte de este proyecto, se estima que el costo de la energía mareomotriz puede ser un 16% menor en Chile que en el Reino Unido (debido principalmente a los menores costos de la fuerza laboral y las embarcaciones estándares), y posiblemente un 30% menos en el caso de la energía undimotriz, (debido a los factores nombrados anteriormente y al aumento en producción energética). A nivel global, se estima que los costos nivelados³ de la energía undimotriz y mareomotriz continuarán disminuyendo a medida que se instalen más dispositivos (“aprender haciendo”) y se fomente la innovación (“aprendizaje acelerado”) ⁴, como se muestra en la Figura 6 (Carbon Trust, 2011). Al mismo tiempo, se cree que el costo de combustibles fósiles continuará aumentando. Un efecto estabilizador de corto plazo en el costo de la electricidad en las dos principales redes eléctricas chilenas, es la interconexión planificada para el año 2018. Sin embargo, en el mediano y largo plazo es probable que continúe la tendencia de alza de precios, e inevitablemente, la presión para reducir emisiones de carbono, también irá en aumento.

Fialmente, según las tendencias actuales, la energía marina debería ser capaz de competir con otras formas de energía renovable en la red de electricidad principal para mediados de la década de 2020. Es probable que las aplicaciones de energía marina, donde los costos existentes son más altos o donde la energía de las olas se utiliza directamente (bombeo marino) sean viables antes de lo previsto. Como se muestra en la Figura 6, es probable que la energía mareomotriz ya pueda competir con la generación mediante diesel en algunos casos, especialmente en áreas remotas (ver Figura 6).

³ Los costos nivelados consideran los costos de capital, operativos y costos de retirada de un proyecto compensado con la producción de energía durante la vida útil de un proyecto.

⁴ Ver informe: Aceleración de la Energía Marina (Carbon Trust, 2011).

La Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía de Chile

El Gobierno de Chile ha publicado una Estrategia Nacional de Energía para el periodo 2012-2030. Los pilares fundamentales de esta estrategia son aumentar la contribución de energías renovables no convencionales y aumentar la eficiencia energética. El Ministerio de Energía se encuentra actualmente desarrollando una estrategia de energía marina, en donde se incluye el siguiente bosquejo de la declaración de su visión:

“El Gobierno de Chile reconoce la importancia de desarrollar fuentes de energía renovable provenientes de su extenso recurso marino para mejorar la seguridad del suministro energético y mitigar el impacto en el cambio climático de la matriz energética nacional contribuyendo al desarrollo económico e industrial de la nación.

Para garantizar la maximización de los beneficios económicos asociados a la utilización del recurso energético marino del país, el Gobierno de Chile desea establecer una “Estrategia de Desarrollo para la Energía Renovable Marina”, que le permita al país apoyar el crecimiento del sector y tomar un rol participativo en el desarrollo de las tecnologías de energía marina en sus aguas territoriales.”

(Ministerio de Energía de Chile, 2013)

Es un hecho alentador que el Gobierno de Chile haya expresado su preferencia por la estrategia de desarrollo explicada anteriormente, y que se haya logrado un progreso significativo en este ámbito durante el último año. El anuncio de USD 27 millones para el financiamiento de un centro de excelencia de energía marina y el apoyo de los primeros proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz es un avance muy positivo, al igual que diversos estudios relacionados y cambios normativos puestos en práctica o propuestos por el Gobierno de Chile. No obstante, mucho queda por hacer para que Chile pueda plenamente sopesar los beneficios de desarrollar una industria energética marina nacional. Este proyecto tiene como objetivo plantear recomendaciones que apoyen el desarrollo de la estrategia de energía marina en Chile. Por último, las recomendaciones están estructuradas en torno a los pilares que se identificaron en la Estrategia de Energía Marina que está siendo desarrollada por el Ministerio de Energía (ver Figura 7).

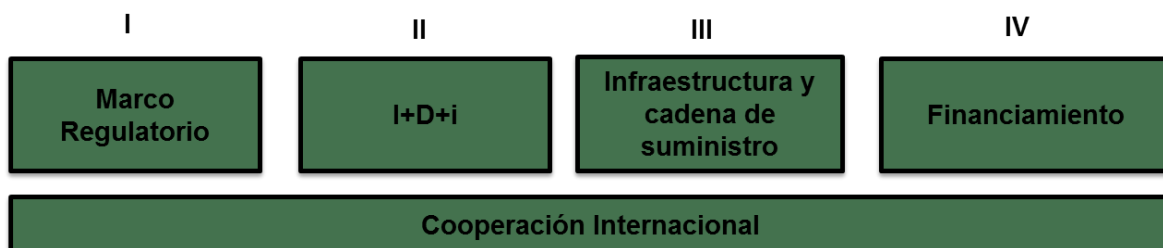


Figura 7: Pilares para la Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía

Marco regulatorio

Concesiones marítimas: *Derechos legales o comerciales para utilizar el mar o lecho marino.*

Las normas para obtener concesiones marítimas para proyectos de energía marina deben ser clarificadas, al igual que el impacto que tendrá la transferencia de la responsabilidad sobre estas desde SUBSECMAR (Ministerio de Defensa) al Ministerio de Bienes Nacionales. La discusión sobre este cambio legislativo, presenta una oportunidad para incorporar los asuntos relacionados

con la energía marina, y para establecer un mecanismo que prevenga la solicitud de concesiones especulativas. Esto, en cierto grado, un problema no solo en la industria de la energía eólica y solar en Chile, sino que, también, en las primeras etapas de adjudicación de áreas para la energía marina a escala comercial en Escocia y Reino Unido. Un estudio reciente realizado por Philippi Abogados, que considera el desarrollo de proyectos de energía marina de un tamaño aproximado de 100 MW, concluyó que el proceso de garantizar las concesiones marítimas para tales proyectos (con la participación de diversas autoridades) es "lento, complejo e incierto", y que demoraría entre uno y dos años, como mínimo, en completarse. Sin embargo, algunos desarrolladores chilenos de dispositivos han implementado exitosamente prototipos a escala mediante las concesiones a corto plazo disponibles, con fines de investigación o prospección. No obstante, es necesario tomar mayores consideraciones para proyectos menores a 100 MW los cuales serán los primeros en ser instalados.

Permisos y licencias: *Necesarios para un proyecto, incluidos permisos de construcción, Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), permisos de navegación, concesiones eléctricas, etc.*

En Chile existe una escasez de experiencia técnica que permita la implementación de dispositivos undimotrices o mareomotrices, lo que puede significar un potencial retraso en proyectos, y paralelamente, convertirse en una barrera para el desarrollo de las normas en relación a la energía marina. La experiencia internacional indica que las agencias reguladoras pueden ser excesivamente cautelosas al realizar dicho proceso. Es esencial un enfoque centrado en el riesgo, que tome en cuenta la experiencia internacional al evaluar la implementación de dispositivos, de lo contrario, existe la posibilidad que los proyectos se retrasen innecesariamente y se incurran en gastos excesivos.

Se han realizado algunos trabajos para resolver esta situación, como la guía para la evaluación del impacto ambiental planificada por el Ministerio del Medio Ambiente. Además de esta guía, resultaría conveniente producir un manual para los desarrolladores de proyectos, donde se resuman los pasos necesarios para obtener la concesión, los permisos y las licencias necesarios para la realización de proyectos de energía marina en Chile⁵. Este proyecto también podría considerar la posibilidad de una simplificación del proceso de permisos y licencias, con el fin de reducir el número de licencias necesarias y los reguladores involucrados, y para permitir la consulta coordinada para reducir los plazos de determinación de licencias.

Planificación marina: *Identificación y preservación de áreas adecuadas para energía marina.*

Con el fin de identificar las áreas del país con el menor riesgo ambiental para proyectos de energía marina, se puede considerar una evaluación ambiental estratégica nacional. La combinación de esto con los resultados del estudio de infraestructura planificado, y la evaluación de los lugares donde se puedan implementar los proyectos de energía marina al menor costo, permitiría identificar las zonas de desarrollo prioritarias para la energía undimotriz y mareomotriz. Esto se realizaría en colaboración con las Comisiones Regionales y Nacional de Uso de Borde Costero (CRUBC/CNUBC). Otorgar derecho a voto a los representantes del Ministerio de Energía en estas comisiones resulta conveniente, ya que en la actualidad solamente tienen estatus de observador.

General

Se puede considerar un equipo de trabajo encargado de la creación de una estructura de gestión y control de riesgos apropiada para el desarrollo de las energías marinas en Chile. Resulta más eficaz aprender que replicar disposiciones normativas existentes (tanto internacional como nacionalmente desde otros sectores). Chile tiene la oportunidad de establecer estándares nuevos y apropiados para el sector de la energía marina que podrían dar origen a un nuevo para otros países, siempre y cuando se logre un equilibrio entre control y facilitación. Por último, los proyectos de energía marina pueden ofrecer una excelente oportunidad para la participación de las comunidades y su involucración en el ámbito del desarrollo de proyectos y de selección de áreas.

⁵ Para este fin, Escocia ha redactado un documento Manual para el Otorgamiento de Licencias para Energía Renovable. Visite <http://www.scotland.gov.uk/Resource/0040/00405806.pdf>

Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

El Ministerio de Energía y CORFO buscan consolidar las capacidades Chilenas en energías marinas y fomentar el desarrollo de dispositivos especializados y capital humano, mediante la investigación, desarrollo e innovación. El futuro **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares es un factor clave en este ámbito, al igual que los diversos acuerdos internacionales que el Ministerio de Energía ha suscrito. CONICYT en conjunto con las universidades chilenas, podrían considerar la coordinación de esfuerzos investigativos en Chile con la industria de la energía marina internacional a través de colaboraciones con organizaciones tales como la EERA⁶ y además podrían realizar un proyecto similar al Centro de Investigación Energética del Reino Unido (UKERC, 2012). CORFO podría contemplar una iniciativa como esta para la investigación, desarrollo e innovación aplicada.

La adaptación de la tecnología y la reducción de los costos es una prioridad establecida por el Gobierno de Chile, las cuales debieran centrarse en áreas que requieren soluciones específicas para Chile. Por ejemplo:

- Las largas longitudes de olas afectarán la geometría de los dispositivos de energía undimotriz.
- Dada la alta consistencia de olas, se necesitarán nuevos métodos de instalación y mantenimiento que posean mayor resistencia.
- Las áreas de desarrollo de energía undimotriz en pendientes pronunciadas del lecho marino, requerirán nuevos diseños de anclaje.
- Se debe considerar el riesgo de sismos y tsunamis.
- Sería conveniente explorar la sinergia que ocurre entre las tecnologías de energía mareomotriz y la energía proveniente de ríos.

Resulta conveniente considerar el desarrollo y adaptación de dispositivos extranjeros a las condiciones chilenas, en paralelo con el desarrollo de nuevas tecnologías en Chile. Además, con el fin de crear capacidades locales y reducir la dependencia de las importaciones, es conveniente identificar los bienes y servicios que se puedan producir o proveer en Chile, para fomentar el desarrollo de estas áreas.

Ya se han dado los primeros pasos hacia la comprensión de los recursos de energía marina en Chile, pero los recursos mareomotrices requieren de un estudio más profundo. Sería conveniente cartografiar la batimetría en el lecho marino en áreas de recursos clave y establecer patrones de distribución de energía undimotriz cerca de la línea costera (menos de 10 km). Las evaluaciones nacionales hasta la fecha solo han considerado los recursos marinos totales, por lo tanto, aún queda por identificar cuáles áreas son las más viables económicamente. Esto es necesario para respaldar la identificación de zonas de desarrollo prioritarias.

Debería priorizarse una investigación medioambiental enfocada en la sensibilidad, riesgo e incertidumbre locales actuales. Asimismo, estos estudios de medio ambiente deben considerar efectos probables y cuantificables. También resulta importante difundir las características y beneficios de la energía marina para evitar conflictos originados por la falta de información.

Existe una serie de nichos de mercado dentro de la energía marina que han recibido relativamente poca atención a la fecha y donde Chile podría tomar un rol de liderazgo. Entre ellos se encuentran los siguientes:

⁶ Siglas de la organización European Energy Alliance, ver <http://eera-set.eu/>

- Uso de la energía undimotriz para la desalinización o bombeo marino: el Gobierno de Chile estima que para 2020, la industria minera del cobre requerirá 6,3 TWh /año solamente para este propósito.
- Desarrollo de sistemas de energía marina de pequeña escala para miles de comunidades aisladas, granjas salmoneras y sitios turísticos, con acceso limitado a energía y/o agua.

Es importante integrar y coordinar las actividades del **Centro de Excelencia Internacional** y los **proyectos pilotos de olas y mareas** con otros centros similares a nivel internacional para compartir el conocimiento aprendido, y evitar esfuerzos innecesarios. Sería propicio determinar el grado en el que estas actividades deben apoyar la implementación de dispositivos en el futuro, por ejemplo, mediante emplazamientos con permisos preliminares, el acceso a equipamiento para instalación, o mediante el uso de una infraestructura compartida o instalaciones de prueba de equipos.

Infraestructura y cadena de abastecimiento

Red eléctrica y otros mercados energéticos

En la actualidad, Chile está relativamente bien abastecido en capacidad de red eléctrica costera, con casi 50 puntos de conexión posibles a lo largo de la costa. Sin embargo, esta red se compone de 4 sistemas separados. La distancia entre los puntos de conexión puede ser de cientos de kilómetros, y muchas de las comunidades más remotas en la costa chilena no están conectadas a una red eléctrica. El Ministerio de Energía ha confirmado que se encuentra entre sus planes considerar los requerimientos de capacidad para la red eléctrica usando la energía marina, sin embargo, aún no se han anunciado iniciativas específicas.

Los proyectos de energía marina en el Reino Unido y otros países están sufriendo retrasos debido al acceso inadecuado a la red eléctrica, los acuerdos comerciales para la conexión de la red y el uso de los regímenes de carga de los sistemas, también, han demostrado ser barreras para la inversión, lo que causa retrasos y cancelaciones de proyectos. Por lo tanto, es conveniente analizar el sistema eléctrico chileno teniendo presente estos problemas, y considerando la mejor manera para evitarlos. Una solución puede ser la explotación de aquellos mercados fuera de la red eléctrica, como es el caso de comunidades aisladas, y las aplicaciones energéticas, tales como, la desalinización y el bombeo de agua y uso industrial directo o dedicado (incluyendo, en el caso de que sea necesario, conexiones de cableado eléctrico).

Infraestructura y cadena de abastecimiento

Uno de los planes del Ministerio de Energía es realizar un estudio sobre la infraestructura y los servicios para la energía marina. Los resultados de este estudio deben emplearse para fomentar la creación de una capacidad adecuada de la cadena de abastecimiento, la designación de zonas de desarrollo prioritarias y el enfoque en programas de investigación, desarrollo e innovación, y otras políticas de energía marina. El Ministerio de Obras Públicas debería considerar el desarrollo de capacidades y servicios para la energía marina en su próximo plan maestro de obras portuarias. Es importante considerar los requerimientos de la cadena de abastecimiento para el desarrollo de tecnologías al corto plazo (I+D+i) junto con los requerimientos para el desarrollo de proyectos más amplios y a mayor plazo, entre las que se incluyen evaluaciones, planificación, fabricación, instalación y servicios de mantenimiento, entre otros.

Fortalecer lazos con instituciones internacionales activas en la capacitación sobre energía marina, fomentará el desarrollo de capacidades en Chile. Podría ser conveniente que Chile Valora⁷, el

⁷ *Comisión Sistema de Certificación y Competencias Laborales*, the National Commission for Certification and Labour Skills

Ministerio de Educación y el Ministerio del Trabajo incluyeran la capacitación en energía marina (o más general, en energías renovables) en sus programas.

Por último, las asociaciones comerciales pueden influir en la promoción del desarrollo de la industria, y aquellas que estén localizadas en Santiago, deberían considerar expandir sus actividades a aquellas regiones con mayor potencial para la energía marina o trabajar en colaboración con las organizaciones locales existentes.

Financiamiento

Teniendo en cuenta la etapa de desarrollo en la que se encuentra el sector de las energías marinas, el financiamiento se vuelve un factor clave. La mayor conciencia sobre el riesgo y los controles crediticios más estrictos han dificultado el aumento de financiamiento en los últimos años. Un apoyo económico relativamente menor del Gobierno puede influenciar significativamente a las inversiones del sector privado.



Figura 8: Desarrollo tecnológico (basado en Carbon Trust, 2011)

Los incentivos para las ERNC en Chile no apuntan a tecnologías precomerciales, pero influyen en los precios de recursos renovables en el mercado. Otros fondos existentes e iniciativas de I+D+i, han bastado para apoyar las pruebas de prototipos a escala de algunas empresas chilenas, además de diversos proyectos universitarios y otros estudios. Los USD 27 millones en fondos planificados para proyectos pilotos y la creación de un Centro de Excelencia Internacional representan un cambio notable en el nivel de inversión, lo que debería garantizar la primera gran implementación en el mar y un nivel continuo de actividad de I+D+i aplicada (ver Figura 8).

Otros países continúan ofreciendo importantes subsidios para la generación con energías marinas, lo cual probablemente no se verá replicado en Chile. En lugar de competir con el respaldo disponible internacionalmente para granjas conectadas a la red eléctrica, puede ser más conveniente respaldar proyectos en nichos del mercado energético local.

Para establecer una estrategia de desarrollo es necesario obtener el apoyo suficiente para proyectos precomerciales que permitan a Chile adoptar un rol más activo en el desarrollo de la energía marina. Como se muestra en la Figura 8, mediante los mecanismos de respaldo financiero actualmente disponibles, existe una potencial brecha en actividad entre el término de la fase de financiamiento de los proyectos pilotos y el comienzo de los proyectos comercialmente viables. Se necesitará establecer una base de apoyo más amplia. Asimismo, es posible que Chile pueda buscar una estrategia de desarrollo que prescindiera de implementaciones subsidiadas de gran envergadura y precomerciales. Esta base de apoyo se podría incluir:

1. El respaldo a proyectos de I+D+i que contribuyan a reducir el riesgo tecnológico y sus costos; lo cual se debe coordinar con la industria global de energía marina, que también, debería respaldar a los desarrolladores tecnológicos chilenos.
2. La creación de nuevos estudios e instrumentos de financiamiento para respaldar el desarrollo de nichos de mercado en la energía marina, donde Chile cuenta con una ventaja natural y/o un mercado nacional importante, por ejemplo, en la desalinización mediante energía undimotriz, el bombeo de agua para la industria minera y los sistemas que cuentan con energía del mar para comunidades aisladas o granjas salmoneras.
3. Mantener cierta actividad en el área más convencional de prototipos conectados a la red eléctrica a escala de MW, mediante financiamiento que respalde la expansión de proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz planificados (capacidad de 10 a 30 MW), en el mediano plazo, alrededor del año 2020.

Análisis regional

Chile es un extenso país con más de 4.000 km de línea costera. Algunas Regiones de Chile tienen un tamaño similar al territorio continental de Escocia, por lo que resulta imperativo que la política de energía marina tome en cuenta esta excepcional geografía.

Norte Grande / Norte Chico

En el norte de Chile, la demanda de agua y electricidad podría impulsar el desarrollo de plantas undimotrices (posiblemente combinadas) de generación eléctrica, desalinización y bombeo de agua. Se espera que la demanda en estas áreas aumente debido al crecimiento de la actividad minera. El alto costo de la electricidad y el agua, combinado con los beneficios tributarios y un entorno de operación menos desafiante, podrían viabilizar los proyectos de energía undimotriz antes que en regiones más australes. Por otro lado, los combustibles fósiles representan el 99% de la matriz energética en esta zona, por lo que existe una necesidad apremiante de aumentar la contribución de las energías renovables no convencionales en la red eléctrica. Finalmente, es importante considerar que casi la mitad de las comunidades aisladas en la Región de Antofagasta dependen del suministro de agua por camiones aljibes. El potencial para la desalinización en base de energía undimotriz a escala comunitaria también requiere de investigación.

Centro / Centro Sur

Es probable que la zona central de Chile tenga un rol clave en el desarrollo de la cadena de suministros de la energía marina del país, ya que las estructuras y los componentes de dispositivos pueden fabricarse en esta zona. Aquí se requiere una planificación colaborativa entre el sector público y privado para promover el desarrollo de la industria local. Por otro lado, dada la alta densidad poblacional e intensidad de uso del borde costero en esta región, quizás el desafío más urgente es identificar y designar las áreas con mayor potencial para la energía undimotriz. La densidad poblacional disminuye hacia el sur, pero los niveles de energía undimotriz son más altos, hay mayor disponibilidad de lecho marino de una profundidad adecuada y, ya que los proyectos pueden conectarse al Sistema Interconectado Central de Chile (SIC), el potencial comercial de energía undimotriz se hace mayor.

Los Lagos

Los Lagos es una región estratégicamente importante para las energías marinas en Chile, ya que posee abundantes recursos para la energía undimotriz y mareomotriz. Esta región es una zona de transición entre las áreas más pobladas de Chile y la Patagonia. Existe un gran número de comunidades aisladas dispersas entre islas, fiordos y canales. El costo de la energía (producida generalmente en base a diesel) es alto, por lo que existe un potencial interesante para las energías renovables, entre ellas la energía undimotriz y mareomotriz. Además, el Canal de Chacao es el segundo sitio con potencial de corrientes de mareas más importante de Chile, después del estrecho de Magallanes, y los proyectos que se realicen en esta área pueden conectarse al SIC. Se deberá hacer un esfuerzo para diseñar un proyecto que sea aceptable ambiental y socialmente para esta área catalogada como sensible. Cabe notar que recientemente, se retrasó un proyecto eólico costero-terrestre en Chiloé, debido a preocupaciones sobre posibles impactos al patrimonio arqueológico y las ballenas azules.

Aysén, Magallanes e isla costeras

El área de Aysén presenta corrientes de mareas considerables en las proximidades de las comunidades aisladas, granjas salmoneras o sitios turísticos. En el estrecho de Magallanes se encuentra el mayor recurso mareomotriz de Chile, sin embargo, también existen otros lugares más pequeños con un buen potencial, como los Canales Beagle y Fitzroy. En estos lugares se requiere de una mayor comprensión de los recursos mareomotrices, al igual que el potencial de la energía de los ríos. Aunque los niveles de energía undimotriz en la costa del Pacífico son extremadamente altos en Aysén y Magallanes, estos sitios son relativamente inaccesibles y difíciles de desarrollar en el futuro cercano. Sin embargo, podría ser posible realizar proyectos de energía undimotriz más pequeños en lugares con menor potencial, como en el norte de Aysén, en partes más amplias del estrecho de Magallanes o en el Seno Otway. Por otra parte, se puede investigar el potencial para la energía marina de islas lejanas a la costa de Chile, especialmente Isla de Pascua y Juan Fernández. Los Gobiernos Regionales de Chile y la Subsecretaría de Desarrollo Regional, podrían considerar el potencial para el suministro de energía y agua potable a partir de energías marinas renovables, como parte de la estrategia para las comunidades remotas. Finalmente, se deben identificar los emplazamientos más prometedores en coordinación con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero, CRUBC.

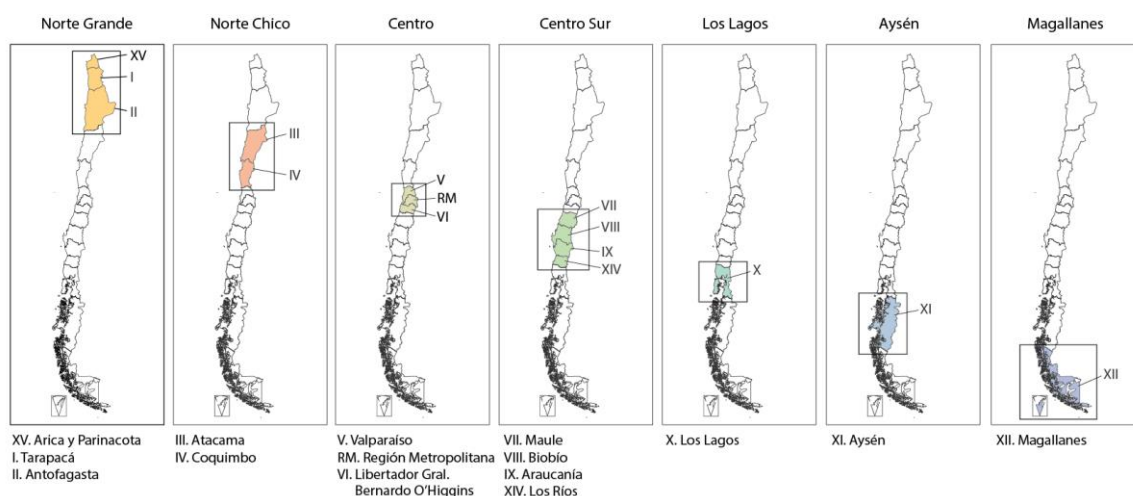


Figura 9: Regiones evaluadas para la energía marina

Existe un interesante potencial para la energía marina en las quince regiones de Chile. Este estudio considera las características de las regiones de energía marina mostradas en la Figura 9, con el objetivo de identificar las áreas prioritarias para cada una de estas regiones. La Tabla 1 presenta un resumen de las conclusiones de este trabajo.

Tabla 1: Prioridades regionales para el desarrollo de la energía marina

Clave:	Buen potencial	Cierto potencial	Poco o sin potencial			
	Norte Grande y Chico	Centro & Centro Sur	Los Lagos	Aysén	Magallanes	Islas de Ultramar
Tecnología						
Proyectos mareomotrices a pequeña escala						
Proyectos mareomotrices a escala grande						
Proyectos undimotrices a pequeña escala						
Proyectos undimotrices a escala grande						
Fabricación de dispositivos						
Mercados energéticos						
Red eléctrica						
Desalinización y bombeo de agua para la minería						
Desalinización de agua para comunidades aisladas						
Energía para comunidades aisladas						
Acuicultura (salmón)						

Escenarios de desarrollo

El costo de la energía marina disminuirá a medida que se instalen más dispositivos en el mundo, y se vaya dando cabida a la innovación. No es posible determinar cómo se realizarán los futuros desarrollos, sin embargo, es evidente que el respaldo del Gobierno durante la etapa precomercial puede aumentar la actividad de instalación y apresurar el comienzo de los proyectos comerciales. A medida que las tecnologías de energía mareomotriz se acerquen a la comercialización, es probable que inicialmente se instale mayor capacidad mareomotriz que undimotriz. Sin embargo, existe una cantidad limitada de sitios mareomotrices y, una vez que se comercialicen, la energía undimotriz podrá continuar su crecimiento con mayor rapidez (ver Figura 10).

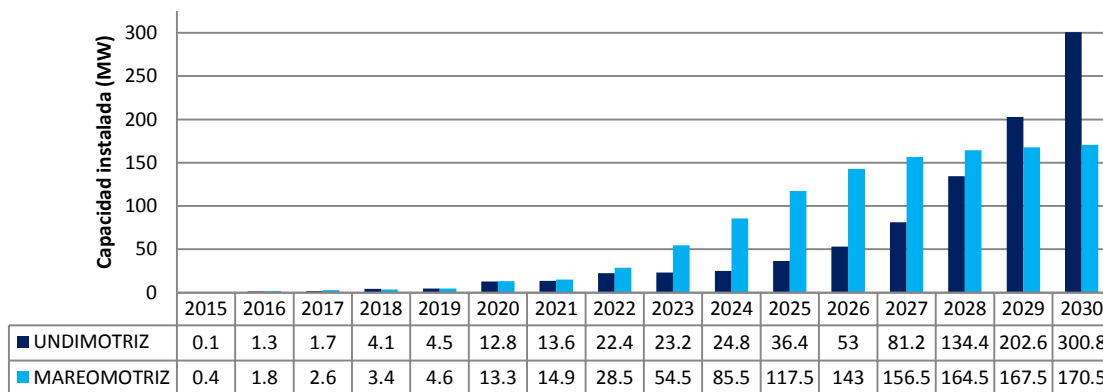


Figura 10: Escenario potencial para el desarrollo mareomotriz y undimotriz en Chile

En el análisis realizado, la actual política de energía marina de Chile constituye un escenario de **estrategia de implementación plus** donde se realizan los cambios normativos y se respalda el aumento de la actividad de I+D+i, sin embargo, las instalaciones de dispositivos se pueden ver limitadas hasta la aparición de proyectos comerciales, probablemente a mediados de la década de 2020.

Si se puede obtener mayor respaldo precomercial, por ejemplo, para apoyar los proyectos de nichos de mercado en el corto plazo y, quizás, lograr una expansión de entre 10 y 30 MW para los proyectos pilotos en el mediano plazo. Esto se consideraría como una **estrategia de desarrollo** suficiente para que Chile obtenga los beneficios económicos asociados (campo laboral e inversión) a un rol activo en el desarrollo de la energía marina.

En el escenario más optimista que se muestra a continuación, el apoyo a múltiples granjas precomerciales garantizaría un rol protagónico de Chile mediante una **estrategia de desarrollo acelerado**. En la Figura 11 se comparan estos tres escenarios con el crecimiento histórico de la capacidad eólica y biomasa en Chile, en relación al potencial crecimiento de la energía marina en el Reino Unido.

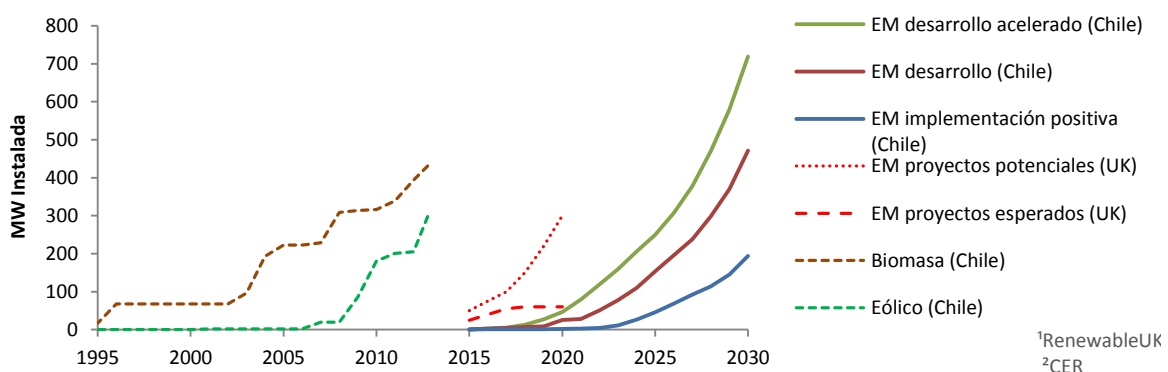


Figura 11: Crecimiento histórico en energía eólica terrestre y biomasa en Chile versus pronóstico de escenarios para la Energía Marina (EM) y el Reino Unido

Recomendaciones claves

Este proyecto tuvo por objetivo desarrollar una serie de recomendaciones específicas para apoyar el desarrollo de la estrategia de energía marina de Chile. La Tabla 2 presenta un resumen de estas recomendaciones. La información en detalle y el razonamiento detrás de esta se presentan en el este informe.

Tabla 2: Lista y resumen de recomendaciones

Categorías de actividad	Normativo	I+D+i	Infra. y abastecimiento	Financiamiento
Página	Actividad		Categoría de actividad	Plazo de ejecución
63	Establecer el Centro de Excelencia Internacional (CEI) para guiar los proyectos estratégicos de investigación; crear un plan nacional de I+D+i para energía marina.		Ministerio de Energía / CORFO	Urgente
63	Implementar proyectos pilotos y acordar objetivos coordinados para estos proyectos con el Centro de Excelencia Internacional.		Ministerio de Energía	Urgente
33	Desarrollar la estrategia de energía marina, designar grupo independiente a cargo de la revisión, asesoría y publicación del progreso cada dos años.		Gobierno de Chile	Urgente
18	Desarrollar normas claras para las concesiones marítimas, reducir la incertidumbre sobre transferencia de poderes de SUBSECMAR al Ministerio de Bienes Nacionales.		Energía / Defensa / Bienes Nacionales	Urgente
8	Integrar una política de energía renovable con políticas de desarrollo más amplias de energía, economía y desarrollo regional. Considerar nuevos usos de la energía.		Gobierno de Chile	En proceso
64	Realizar conferencias regularmente de I+D+i, publicar conclusiones.		Academia; Industria	En proceso
78	Realizar regularmente conferencias sobre cadena de abastecimiento, fortalecer asociaciones comerciales y gremiales, y expandirlas regionalmente.		Academia; Industria	En proceso
79	Determinar brechas de capacidades para las energías renovables y abordarlas. *También, el Ministerio del Trabajo, Ministerio de Energía y la industria.		Min. Educación y Academia	En proceso
27	Otorgar al Ministerio de Energía derecho de voto en CRUBC y CNUBC.		CNUBC / Min. Energía	Corto plazo
30	Realizar evaluación estratégica de impacto ambiental a nivel nacional para la energía marina.		Ministerio de Medio Ambiente	Corto plazo
11, 30	Identificar y cartografiar la distribución de recursos mareomotrices en Chile.		Min Energía / CER	Corto plazo
55, 56	Apoyar I+D+i, estudios de factibilidad y crear nuevos mecanismos de financiamiento para proyectos de pequeña escala, aplicaciones de desalinización y bombeo de aguas. Dar respaldo a desarrolladores tecnológicos chilenos.		Ministerio de Energía / CER	Corto plazo
64	Formalizar vínculos con foros de energías marinas internacionales y grupos directivos (p.e. UKERC y EOEa)		Industria / Academia	Corto plazo
24	Desarrollar un manual sobre permisos y licencias requeridos para proyectos de energía marina, considerar optimización.		Centro de Energías Renovables	Corto plazo
28	Identificar y designar zonas prioritarias para el desarrollo: en consulta con actores relevantes y usando resultados de la evaluación ambiental estratégica, el estudio de infraestructura y costo de energía. Incluir energía marina en planes de la CRUBC.		Min. Energía / CNUBC / CRUBC	Corto plazo
48	Priorizar investigación en evaluación de impacto ambiental, con un enfoque basado en riesgos. Crear grupo de trabajo para coordinar investigación ambiental para la energía marina.		Academia / Min. Energía	Corto plazo
69	Estudiar requerimientos de conexión a la red, costos y plazos de ejecución para la energía marina y crear un plan de desarrollo.		Min. Energía / CDEC	Corto plazo
63	Desarrollar plan para I+D+i de energía marina básica y aplicada.		CORFO / CONICYT	Corto plazo
44	Recopilar datos obtenidos sobre recursos de energía marina y batimetría del lecho marino.		Industria / Academia	Corto/ mediano
72	Usar resultados del estudio de infraestructura para crear y mantener un plan de infraestructura nacional y regional y de cadena de abastecimiento.		Ministerio de Energía y otros	Corto/ mediano
97	Crear nuevo instrumento financiero para expansión de 10 a 30 MW en proyectos pilotos para 2020.		Ministerio de Energía	Mediano plazo
22	Establecer procesos de licitación para granjas comerciales. *Ministerio de Defensa y Ministerio de Bienes Nacionales		Ministerio de Energía	Mediano plazo

Abreviaciones comunes usadas en este estudio

ADEMAR	Asociación para el Desarrollo de Energías Marinas en Chile
CEI	Centro de Excelencia Internacional
CER	Centro de Energías Renovables
CDEC	Centro de Despacho Económico de Carga
CNUBC	Comisión Nacional de Uso de Borde Costero
CRUBC	Comisión Regional de Uso de Borde Costero
CONICYT	Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
DIPRIDA	Dirección de Investigación, Programas y Desarrollo de la Armada
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante
FONDECYT	Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico
FONDEF	Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico
EMEC	<i>European Marine Energy Centre</i> (Centro Europeo de Energía Marina)
ERNC	Energías Renovables No Convencionales. En Chile, la Ley 20.257 considera como ERNC a las todas las plantas de energías renovables con excepción de las centrales hidroeléctricas con más de 20 MW de potencia instalada.
ICE	<i>International Centre of Excellence</i> (o Centro de Excelencia Internacional, CEI)
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
InnovaCORFO	Programa de Innovación de CORFO
NCRE	Non-Conventional Renewable Energy. (Energías Renovables No Convencionales)
ROC	Renewable Obligation Certificates, (Certificados de Obligación de Renovables). Subsidio del Reino Unido para el fomento del mercado de renovables.
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado del Norte Grande
SUBSECMAR	Subsecretaría de Marina

Índice

Agradecimientos	i
Abreviaciones comunes usadas en este estudio	xviii
Índice.....	xix
Figuras	xxiii
Tablas	xxv
Estudios de caso.....	xxvi
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Equipo del Proyecto	1
1.4 Metodología	3
1.5 Estructura del informe	4
2 Visión general	6
2.1 Situación energética mundial	6
2.2 El sector energético en Chile.....	7
2.3 La energía undimotriz y mareomotriz en la futura matriz energética	8
2.4 La situación actual – el estado de la energía undimotriz y mareomotriz de Chile.....	9
2.5 Escala y disponibilidad de la energía undimotriz y mareomotriz de Chile	10
3 Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía de Chile	12
4 Marco Regulatorio	15
4.1 Introducción	15
4.2 Políticas vigentes	15
4.3 Arriendos y concesiones.....	17
4.4 Permisos y Licencias.....	23
4.4.1 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	24
4.4.2 Simplificación del proceso de otorgamiento de permisos.....	26
4.5 Planificación del espacio marino.....	27
4.6 Salud y seguridad.....	31
4.7 Conclusiones – Marco Regulatorio.....	32
5 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).....	34
5.1 Introducción	34
5.2 Actividades en curso	35
5.3 Prioridades de financiamiento.....	36
5.4 Áreas específicas de investigación	39
5.4.1 Reducción del costo de las tecnologías y su adaptación a las condiciones chilenas ..	39
5.4.2 Evaluación de recursos energéticos y selección de sitios con vistas a minimizar el costo de la energía.....	44
5.4.3 Investigaciones medioambientales.....	47
5.4.4 Nichos de mercado	53

5.4.5	Centros de prueba de energía marina – descripción, función y finalidad.....	58
5.5	Conclusiones – investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).....	63
6	Infraestructura y cadena de suministro.....	65
6.1	Red eléctrica.....	66
6.1.1	Conectividad nacional e internacional	68
6.1.2	Capacidad de red eléctrica	68
6.1.3	Peajes por el uso de sistemas de transmisión	69
6.1.4	Estándares de generación eléctrica para dispositivos de generación.....	69
6.1.5	Conclusiones.....	70
6.2	Infraestructura marítima e industrial.....	71
6.2.1	Introducción.....	71
6.2.2	Planificación de infraestructura y cadena de suministro	72
6.2.3	Navíos de apoyo	74
6.2.4	Señalización marítima y navegación.....	75
6.3	Cadena de suministro.....	76
6.3.1	Desarrollo de la tecnología.....	76
6.3.2	Desarrollo de proyectos	77
6.3.3	Comercio y organizaciones de apoyo	78
6.4	Competencias	79
6.5	Conclusiones – Infraestructura y cadena de suministro.	81
7	Financiamiento.....	82
7.1	Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía marina	82
7.2	Mercados para la energía undimotriz y mareomotriz en Chile	87
7.2.1	Grandes redes eléctricas (SIC y SING).....	87
7.2.2	Redes eléctricas de tamaño mediano (Aysén y Magallanes)	88
7.2.3	Suministro directo a clientes industriales	88
7.2.4	Comunidades aisladas	88
7.3	Apoyo disponible en la actualidad	89
7.4	Necesidades de la industria	92
7.5	Conclusiones - financiamiento.....	96
8	Análisis regional	98
8.1	Introducción	98
8.2	Norte Grande.....	104
8.2.1	Visión general	104
8.2.2	Marco normativo.....	104
8.2.3	Investigación, desarrollo y capacidad innovadora	105
8.2.4	Infraestructura y cadena de suministro	105
8.2.5	Mercados energéticos	105
8.2.6	Conclusiones: Norte Grande.....	107
8.3	Norte Chico.....	110
8.3.1	Visión general	110
8.3.2	Marco regulatorio.....	110
8.3.3	Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)	110
8.3.4	Infraestructura y cadena de suministros.....	110

8.3.5	Mercados energéticos.....	111
8.3.6	Conclusiones – Norte Chico	112
8.4	Chile Central	115
8.4.1	Visión general.....	115
8.4.2	Marco regulatorio	115
8.4.3	Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)	115
8.4.4	Infraestructura y cadena de suministros	116
8.4.5	Mercados energéticos.....	116
8.4.6	Conclusiones – Chile Central	116
8.4.7	Territorios insulares en el Pacífico	119
8.5	Centro Sur	121
8.5.1	Visión general.....	121
8.5.2	Marco regulatorio	121
8.5.3	Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)	121
8.5.4	Infraestructura y cadena de suministros	122
8.5.5	Mercados energéticos.....	122
8.5.6	Conclusiones – Centro Sur	123
8.6	Los Lagos	126
8.6.1	Visión general.....	126
8.6.2	Marco regulatorio	126
8.6.3	Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)	126
8.6.4	Infraestructura y cadena de suministros	126
8.6.5	Mercados energéticos.....	127
8.6.6	Conclusiones – Los Lagos	127
8.7	Aysén	130
8.7.1	Visión general.....	130
8.7.2	Marco regulatorio	130
8.7.3	Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)	131
8.7.4	Infraestructura y cadena de suministros	131
8.7.5	Mercados energéticos.....	131
8.7.6	Conclusiones - Aysén.....	132
8.8	Magallanes	135
8.8.1	Visión general.....	135
8.8.2	Marco regulatorio	135
8.8.3	Investigación, desarrollo y capacidad innovadora	136
8.8.4	Infraestructura y cadena de suministros	136
8.8.5	Mercados energéticos.....	136
8.8.6	Conclusión - Magallanes	137
8.9	Conclusiones del análisis regional.....	141
9	Investigación de los posibles escenarios de crecimiento	143
9.1	Estrategia de energía marina.....	143
9.2	Supuestos.....	144
9.3	Estimaciones de crecimiento	145
9.3.1	Crecimiento potencial de la energía mareomotriz	146
9.3.2	Crecimiento potencial de la energía undimotriz.....	147

9.3.3	Comparación del crecimiento de la energía undimotriz y mareomotriz.....	148
9.4	Conclusiones: posibles escenarios de crecimiento.....	149
9.4.1	Comparaciones con el crecimiento histórico en otras energías renovables y predicciones para la energía marina en el Reino Unido	150
9.4.2	Empleos e inversión.....	150
10	Recomendaciones	152
11	Conclusiones	157
11.1	Situación energética en Chile	157
11.2	Recursos energéticos marinos en Chile.....	158
11.3	La tecnología actual y el costo de la energía	158
11.4	Estrategia de energía marina de Chile	160
11.5	Marco regulatorio.....	162
11.5.1	Concesiones marítimas.....	162
11.5.2	Permisos y licencias:.....	162
11.5.3	Planificación marina	162
11.5.4	General	163
11.6	Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)	163
11.7	Infraestructura y cadena de abastecimiento	164
11.7.1	Red eléctrica y otros mercados energéticos	164
11.7.2	Infraestructura y cadena de abastecimiento.....	165
11.8	Financiamiento.....	165
11.9	Análisis regional	166
11.9.1	Norte Grande / Norte Chico	166
11.9.2	Centro / Centro Sur.....	166
11.9.3	Los Lagos.....	166
11.9.4	Aysén, Magallanes y las islas costeras.....	167
11.10	Crecimiento futuro de la energía marina en Chile	167
12	Referencias	169

Figuras

Figura 1: Matriz de generación y costo de electricidad en el mercado spot en Chile.....	ii
Figura 2: Ubicaciones de los eventos de consulta	iii
Figura 3: Recursos de energía renovable totales de Chile versus la capacidad de generación actual.....	iv
Figura 4: Variación diaria ideal en la densidad de energía para fuentes de energía renovable en Chile	v
Figura 5: Factores de planta típicos para la energía renovable en Chile	v
Figura 6: Precios de mercado spot eléctrico en Chile comparados con los costos nivelados de generación undimotriz, mareomotriz y por diesel.....	vi
Figura 7: Pilares para la Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía	viii
Figura 8: Desarrollo tecnológico (basado en Carbon Trust, 2011).....	xii
Figura 9: Regiones evaluadas para la energía marina	xiv
Figura 10: Escenario potencial para el desarrollo mareomotriz y undimotriz en Chile	xvi
Figura 11: Crecimiento histórico en energía eólica terrestre y biomasa en Chile versus pronóstico de escenarios para la Energía Marina (EM) y el Reino Unido	xvi
Figura 12: Ubicaciones de los eventos de consulta.....	3
Figura 13: Plazos de ejecución aproximados mencionados en este informe	5
Figura 14: Matriz de generación y costo marginal promedio del SIC y el SING (Fuentes: Ministerio de Energía, CDEC-SIC y CDEC-SING)	7
Figura 15: Proyección de demanda de electricidad del SIC y el SING	8
Figura 16: Recursos de energía renovable totales de Chile (bruto) y capacidad de generación actual (incluyendo no renovable) (Fuentes: Centro de Energías Renovables; Baird & Associates)	10
Figura 17: Factores de planta típicos para la energía renovable en Chile	10
Figura 18: Pilares fundamentales de la estrategia de energía marina del Gobierno de Chile	12
Figura 19: Tipos de concesiones marítimas en Chile	17
Figura 20: Ronda de arriendos en Pentland y Orkney Waters, Reino Unido	20
Figura 21: Mapa funcional que resume los principales requisitos de obtención de permisos para proyectos de energía marina en Chile (2012).....	23
Figura 22: Costo nivelado de los componentes de la energía marina. Comparación entre convertidores de energía undimotriz y mareomotriz en unas de las primeras instalaciones a escala comercial (Carbon Trust, 2011).....	41
Figura 23: Curvas de potencial de reducción de costos para el caso undimotriz (izq.) y mareomotriz (der.), por componente de costos (Carbon Trust, 2011)	42
Figura 24: Comparación entre el perfil del lecho marino de Orkney, UK y la IV Región de Chile	43
Figura 25: Niveles de cuantificación de recursos de energía marina.....	44
Figura 26: Mapa de los recursos de energía undimotriz de Escocia (izq.) y mapa del costo de la energía undimotriz (der.)	45
Figura 27: Consideraciones relativas al costo de la energía - el caso de la energía undimotriz (AMEC/Carbon Trust, 2012)	46
Figura 28: Principales interacciones medioambientales relacionadas con proyectos de energía marina	48
Figura 29: Ejemplo de priorización de los programas de investigación tomando en cuenta la incertidumbre y la importancia relativa de los factores.....	49
Figura 30: Ubicación de granjas salmoneras en Aysén - XI Región (Fuente: GEOGAMA)	56
Figura 31: Esquema de aspectos considerados por los centros de prueba de energía marina	59
Figura 32: Proyección del costo nivelado de energía undimotriz anticipado en Reino Unido basado en datos recientes (Renewable UK, 2013).....	67
Figura 33: Evaluación de la capacidad de los puertos para respaldar la industria de energía marina (SE/HIE, 2010)	73
Figura 34: Embarcaciones con posicionamiento dinámico desplegadas en el sitio de pruebas de EMEC para instalar turbinas mareomotrices y estructuras de soporte.....	74

Figura 35: Plataforma con cabria atracada y plataforma autoelevable de perforación desplegadas durante la instalación del Oyster 1 de Aquamarine Power en 2009 (izq.) y remolcador desplegado durante la instalación de autolastrado del Oyster 800 en 2011 (der.)	74
Figura 36: Embarcaciones de trabajo multiuso en Orkney (izq.) e instalación de OpenHydro (der.)	74
Figura 37: Comparativo de consistencia de marejada entre Antofagasta, Chile (arriba) y Orkney, Reino Unido (abajo)	75
Figura 38: Requerimientos de la cadena de suministro para el desarrollo de proyectos	77
Figura 39: Empleos directos en energía marina en el Reino Unido (2010) (Renewable UK, 2011)	79
Figura 40: Exención de impuestos y zonas de comercio libre en Chile (InvestChile CORFO, 2011)	90
Figura 41: Mecanismos de apoyo financiero disponibles en Chile y aplicables a los proyectos de energía marina	91
Figura 42: Trayecto de la tecnología (basado en Carbon Trust, 2011).....	93
Figura 43: Precios del mercado spot eléctrico en Chile comparados con los costos nivelados de generación undimotriz, mareomotriz y por diesel.....	94
Figura 44: Escenario potencial de desarrollo de la energía marina en Chile	94
Figura 45: Regiones para la energía marina evaluadas en este informe.....	98
Figura 46: Metodología para al aproximación de recurso undimotriz técnico	102
Figura 47: Metodología por estimación del área de plataforma de suelo marino apto para la instalación de dispositivos de energía marina (<100 m).	102
Figura 48: Simbología	103
Figura 49: Comparación de la capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina (SING)	106
Figura 50: Norte Grande - Iquique	109
Figura 51: Norte Grande - Antofagasta	109
Figura 52: Comparación de la capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina en las regions del SIC	111
Figura 53: Norte Chico - Caldera	114
Figura 54: Norte Chico - Coquimbo	114
Figura 55: Chile Central:- Valparaíso	117
Figura 56: Chile Central:- San Antonio	117
Figura 57: Territorios insulares de Chile en el Pacífico.....	119
Figura 58: Centro Sur - Concepción/Talcahuano.....	123
Figura 59: Centro Sur - Coronel.....	125
Figura 60: Centro Sur - Lebu.....	125
Figura 61: Los Lagos - Puerto Montt	129
Figura 62: Los Lagos - Canal de Chacao.....	129
Figura 63: Capacidad instalada de generación comparada con los recursos de energía marina (Aysén).....	132
Figura 64: Aysén - Canal Carhunco.....	134
Figura 65: Aysén - Puerto Chacabuco.....	134
Figura 66: Capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina (Magallanes)	137
Figura 67: Magallanes - Estrecho de Magallanes	138
Figura 68: Magallanes - Punta Arenas.....	140
Figura 69: Magallanes - Puerto Williams.....	140
Figura 70: Capacidad instalada potencial de energía mareomotriz con la estrategia de desarrollo	147
Figura 71: Capacidad instalada potencial de energía undimotriz con la estrategia de desarrollo.....	148
Figura 72: Comparación del crecimiento potencial de la energía undimotriz y mareomotriz (estrategia de desarrollo)	148
Figura 73: Escenarios de capacidad total de energía marina (undimotriz más mareomotriz).....	149
Figura 74: Comparación con la experiencia chilena y predicciones para el Reino Unido	150
Figura 75: Creación de empleos por MW de capacidad instalada de energía marina	151

Tablas

Tabla 1: Prioridades regionales para el desarrollo de la energía marina	xv
Tabla 2: Lista y resumen de recomendaciones.....	xvii
Tabla 3: Compatibilidad de distintas concesiones en Chile	19
Tabla 4: Financiamiento para la investigación de la energía marina de la Unión Europea UE:	38
Tabla 5: Principales características de los sitios con potencial para la energía marina en Chile	40
Tabla 6: Resumen general de las interacciones medioambientales a la fecha (2013) en proyectos de energía undimotriz, basado en el conocimiento y experiencia de Aqwatera	50
Tabla 7: Resumen de interacciones medioambientales históricas en proyectos de energía mareomotriz, basado en el conocimiento y experiencia de Aqwatera	52
Tabla 8: Muestra de operaciones mineras que usan agua desalinizada o agua de mar en Chile (GWI, 2011)	54
Tabla 9: Nivel de madurez de tecnología (TRLs), basado en DOE	76
Tabla 10: Ejemplo de requerimientos de cadena de suministro en etapas de desarrollo tecnológico	77
Tabla 11: Instituciones en el Reino Unido que ofrecen curso en energía marina/en alta mar	80
Tabla 12: Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía undimotriz	82
Tabla 13: Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía mareomotriz.....	84
Tabla 14: Consideraciones de una tecnología neutral	86
Tabla 15: Información económica para las distintas regiones en Chile	99
Tabla 16: Comparación regional de los recursos, infraestructura y mercados energéticos para la energía marina	100
Tabla 17: Prioridades potenciales regionales para el desarrollo de la energía marina	141
Tabla 18: Empleos e inversión potenciales derivados de los diferentes escenarios de crecimiento	151
Tabla 19: Lista de recomendaciones para este proyecto.....	152

Estudios de caso

Estudio de caso 2-A: Publicación de la AIE sobre energía marina a nivel Internacional	9
Estudio de caso 4-A: Marco Regulatorio en Escocia	16
Estudio de caso 4-B: Arriendos en el Reino Unido	20
Estudio de caso 4-C: Política de estudio, implementación y monitoreo en Escocia	24
Estudio de caso 4-D: Consideración de los impactos generales de las energías marinas en EIAs en Escocia..	26
Estudio de caso 4-E: Creación de una ventanilla única y simplificación del otorgamiento de licencias marinas en Escocia	26
Estudio de caso 4-F: Planificación del espacio marino en Escocia	28
Estudio de caso 4-G: Recolección estratégica de datos e investigación del medio ambiente	29
Estudio de caso 4-H: Estrategia de energía marina en Escocia	32
Estudio de caso 5-A: Sector de fondos facilitadores en Oregón, USA.....	37
Estudio de caso 5-B: Sector de fondos facilitadores en Escocia, Reino Unido.....	37
Estudio de caso 5-C: Financiamiento para la investigación de la energía marina en la Unión Europea	38
Estudio de caso 5-D: Reducción de costos en la energía marina en el Reino Unido.....	41
Estudio de caso 5-E: El costo de los estudios de recursos energéticos en el Reino Unido	45
Estudio de caso 5-F: Priorización del trabajo de investigación en Estados Unidos.....	49
Estudio de caso 5-G: Centros de prueba de energía marina	62
Estudio de caso 6-A: Limitaciones a la red eléctrica en Escocia	67
Estudio de caso 6-B: Estudios de redes de electricidad y modelos de conexión y gestión en UK	68
Estudio de caso 6-C: Planificación de la Infraestructura de energía marina en Escocia	72
Estudio de caso 6-D: Planificación de la Infraestructura de energía marina en Escocia (Cont.)	73
Estudio de caso 6-E: Comercio y organizaciones de apoyo en el Reino Unido	78
Estudio de caso 6-F: Desarrollo de la cadena de suministro para energía marina en el Reino Unido	79
Estudio de caso 6-G: Cursos académicos de energía marina en el Reino Unido.....	80
Estudio de caso 6-H: Capacitación para empleados que trabajan con tecnología de bajas emisiones de carbono en Escocia.....	80
Estudio de caso 6-I: Iniciativas para capacitaciones en energía marina en la Unión Europea	81
Estudio de caso 8-A: Creación de empleos en la periferia en Orkney, Reino Unido.....	142
Estudio de caso 11-A: Desarrollo de la energía marina en el Reino Unido	161

1 Introducción

1.1 Antecedentes

En marzo de 2012 se publicó un análisis del potencial de desarrollo de energía marina en Chile (E&A/UoE, 2012). Dicho informe resume los recursos de energía marina de Chile y brinda una visión general de la etapa de desarrollo de diversas tecnologías de energía marina en el mundo. Por otra parte, el informe identifica y compara varios modelos de otorgamiento de permisos y financiamiento dentro del sector de la energía marina. Finalmente, el informe delinea estrategias potenciales para que el Gobierno de Chile apoye el sector de dicha energía. Una de las propuestas de políticas públicas hecha en dicho informe, fue que las partes interesadas se reunieran para desarrollar un plan de acción para el desarrollo de la energía marina de Chile.

El Ministerio de Energía de Chile ha comenzado a desarrollar una estrategia de energía marina a partir del informe publicado en 2012, documento que se definió como la primera versión de un informe completo a publicarse en 2014. El desarrollo de la estrategia comprende un proceso de participación de las partes interesadas, y la publicación de este informe forma parte del proceso de consulta para apoyar el desarrollo en curso de la estrategia de energía marina de Chile.

1.2 Objetivo

El objetivo de este proyecto fue elaborar recomendaciones que contribuyeran a cumplir con la visión del Gobierno de Chile para la energía marina, basándose en la experiencia internacional y en un proceso intensivo de investigación y consultas locales. Se espera que el presente informe sirva de apoyo al desarrollo de una estrategia de energía marina en detalle para Chile.

1.3 Equipo del Proyecto

Este proyecto ha sido desarrollado por Aquatera Limited, apoyado por un grupo de asociados chilenos. Aquatera tiene su oficina central en Orkney, Escocia, y se ha posicionado como un líder entre las firmas consultoras y de investigación aplicada a nivel internacional en el sector de la energía marina. Aquatera se interesó activamente en el potencial energético marino de Chile en 2008/2009, y desde entonces ha realizado numerosas visitas a Chile y organizado una serie de delegaciones de Chile a Orkney. Desde 2012 Aquatera tiene un equipo permanente en Chile y en 2014 estableció una empresa en el país con el fin de consolidar su presencia en Sudamérica.

El personal de Aquatera ha trabajado en el sector de la energía marina desde 1987. La empresa ha llevado a cabo 250 proyectos de energía marina e infraestructura asociada. Aquatera ha trabajado para desarrolladores de tecnología, desarrolladores de proyectos comerciales, empresas de cadena de abastecimiento, empresas de red eléctrica, autoridades portuarias, operadores de embarcaciones, agencias de conservación, agencias de desarrollo económico, Gobiernos locales, Gobiernos nacionales y organizaciones internacionales.

Aquatera y su empresa asociada Orcades Marine Management Consultants han brindado apoyo relacionado con diseño y operaciones a empresas de tecnología marina, desarrolladores de sitios de prueba, y desarrolladores de proyectos comerciales. Aquatera y Orcades Marine han realizado consultorías para más de 30 empresas de tecnología marina, brindando una amplia gama de servicios de diseño, evaluación de sitios, tramitación de permisos, implementación, monitoreo y comunicaciones públicas, y han gestionado más de 1.000 días en alta mar realizando actividades de monitoreo y recuperación relacionadas con evaluación de sitios marinos, implementación y tecnología de energía marina.

La clave de la continuidad del éxito de Aquatera ha sido trabajar con expertos y especialistas locales en alianzas sólidas. En este proyecto, Aquatera recibió asistencia de los socios indicados a continuación:

RODA Energía es una firma consultora y de ingeniería energética con sede en Santiago, Chile. La empresa tiene una vasta experiencia en financiamiento y medidas de apoyo financiero de proyectos de energías renovables. RODA Energía brinda servicios de orientación a clientes en relación al marco normativo chileno y facilita eventos público-privados y la creación de redes en el sector energético de Chile.



Alakaluf se especializa en tecnología oceanográfica y recursos renovables marinos. Su oficina central está en Punta Arenas, Región de Magallanes, la región más austral de Chile. La empresa cuenta con una amplia experiencia en instalación y operación de tecnología en complejas condiciones patagónicas, así como también, en la realización de estudios exhaustivos del medioambiente local y los recursos de energía marina. Además de su sólido vínculo con la comunidad local, Alakaluf forma parte de asociaciones con un gran número de empresas internacionales de energía marina.

BZ Naval Engineering es una empresa de servicios de ingeniería naval y marítima con sede en Santiago. La empresa tiene una trayectoria de trabajo con la Armada de Chile y presta una gama de servicios que va desde inspecciones marinas y materias relacionadas con seguros de garantía hasta logística y gestión de proyectos marinos. BZ Naval Engineering, también, representa a desarrolladores internacionales de dispositivos de energía marina en Chile.



ON Energy se especializa en asuntos relacionados con la red eléctrica y el mercado eléctrico, y tiene conocimiento profundo de la infraestructura eléctrica de Chile. Los conocimientos especializados de la empresa comprenden impuestos a los sistemas de transmisión, negociación de contratos de compra de energía, y planificación y regulación de sistemas eléctricos.

Reunir a este equipo de expertos provenientes de diferentes sectores de la industria chilena le permitió a Aquatera hacer una consulta amplia y elaborar recomendaciones específicas y alcanzables para la estrategia de energía marina de Chile.

1.4 Metodología

El enfoque acordado para este proyecto consistió en combinar el conocimiento y la experiencia que existe en Chile con el conocimiento y la experiencia de especialistas internacionales en el desarrollo de energía marina renovable y particularmente de líderes mundiales en el desarrollo de energía marina, específicamente en el mar de Orkney, en Escocia y más extensamente en el Reino Unido.

La información y el conocimiento con los que cuenta Chile fueron recopilados mediante una serie de entrevistas (individuales y grupales) y talleres. Esto ha significado un nivel sin precedentes de interacción con el Gobierno, la industria, la academia y terceros interesados en el desarrollo de la energía marina. Se consultó a más de 200 organizaciones y personas en total.

A comienzos del 2013, se elaboró, en conjunto con el Ministerio de Energía y otros socios del proyecto, un registro de actores relevantes. Luego se contactó a dichos actores y se publicó una notificación sobre el inicio del proyecto en el sitio web del Centro de Energías Renovables (CER), invitándose a las partes interesadas a llenar un cuestionario preliminar y registrarse para participar en el programa de eventos de consulta, que se adaptó a las respuestas recibidas.

Se realizaron talleres o entrevistas en nueve de las quince regiones de Chile (ver mapa a la derecha) y, asimismo, se realizaron talleres temáticos que trataron los siguientes temas:

- Financiamiento y mecanismos de apoyo financiero
- Marco normativo
- Infraestructura y cadena de abastecimiento
- Red eléctrica
- Medio ambiente (a través de Pontificia Universidad Católica de Chile y FONDEF)
- Investigación y desarrollo e innovación (reuniones individuales con ocho universidades chilenas)

ADEMAR, la Asociación para el Desarrollo de Energías Marinas de Chile, colaboró con información detallada en diversas ocasiones. Sus miembros recibieron actualizaciones mensuales sobre el progreso.

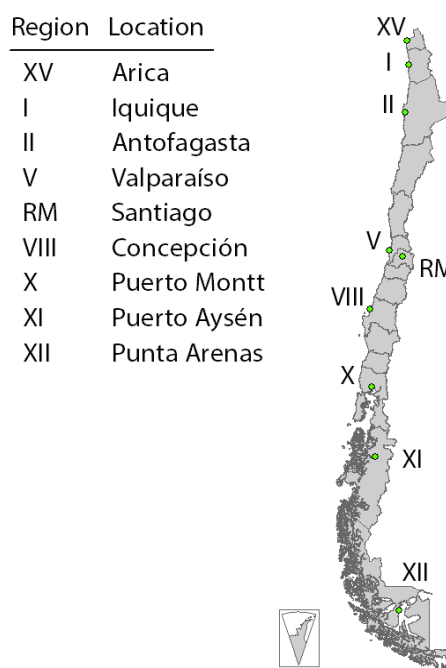


Figura 12: Ubicaciones de los eventos de consulta

Una delegación de funcionarios del Ministerio de Energía, el Centro de Energías Renovables y el Ministerio del Medio Ambiente realizó una misión técnica para conocer a sus pares en el Reino Unido, visitar el Centro Europeo de Energía Marina y observar dispositivos de energía marina en el agua.

Paralelamente a estas actividades, Aquatera y otros socios del proyecto realizaron un estudio comparativo sobre el desarrollo actual de la energía marina a nivel internacional y su potencial en Chile.

Finalmente, los resultados de los eventos de consultas y el estudio comparativo fueron recopilados y analizados para dar contenido a este informe.

Este informe trata sobre energía undimotriz y mareomotriz en forma autónoma cuando corresponde. No se consideran otras formas de energía marina renovable tales como, energía eólica marina o energía térmica de los mares o gradiente de salinidad.

1.5 Estructura del informe

La estructura de este informe está determinada en gran medida por la estructura del documento en desarrollo para la estrategia de energía marina, al cual este informe apunta respaldar. Los temas de los capítulos se establecen a continuación:

- Visión general
- La estrategia de energía marina del Ministerio de Energía
- I Marco regulatorio
- II Investigación, desarrollo e innovación (incluyendo centros de energía marina)
- III Infraestructura y cadena de abastecimiento
- IV Financiamiento
- Análisis de regiones de energía marina
- Investigación de posibles escenarios de desarrollo
- Recomendaciones
- Conclusiones
- Referencias

El capítulo sobre la visión general presenta una breve introducción al sector energético y el estado del desarrollo de la energía marina de Chile, junto con una evaluación de las principales oportunidades y desafíos que enfrenta la industria de hoy. Luego se presentan los elementos clave del documento en desarrollo sobre la estrategia de energía marina y se establece una discusión sobre una política apropiada de la energía marina en torno a cuatro pilares estratégicos identificados por el Gobierno de Chile (I a IV anteriores).

El siguiente capítulo aborda el potencial de la energía marina de las diferentes regiones de Chile y presenta mapas de los recursos de energía marina y de la infraestructura relevante de cada región.

Posteriormente, se investiga una serie de posibles escenarios de desarrollo y se considera el efecto potencial de la estrategia del Gobierno.

Finalmente, el informe presenta las recomendaciones y conclusiones que surgen del proyecto.

El informe principal está respaldado por una serie de estudios de caso presentados en cuadros de texto como se muestra a continuación:

Título del estudio de caso	País/ubicación
Texto explicativo y lecciones aprendidas	

A lo largo de este informe se hacen recomendaciones diversas basadas en la información que se ha presentado y en los resultados de la consulta. A continuación se muestra el formato de dichas recomendaciones:

Recomendación:	
Breve explicación aclaratoria de la acción o el enfoque sugeridos y la razón por la cual se cree que pueden ser convenientes.	
Actor responsable (posible)	Plazo de ejecución de la recomendación

Nota: los estudios de caso y las recomendaciones presentan una numeración de acuerdo al capítulo que pertenecen. Por ejemplo, la primera recomendación del Capítulo 2 es Recomendación 2-A .

Las recomendaciones y el análisis se desarrollan en función de los plazos de ejecución mostrados a continuación, donde en general "corto plazo" significa los próximos cinco años y "largo plazo" significa con posterioridad al año 2025.

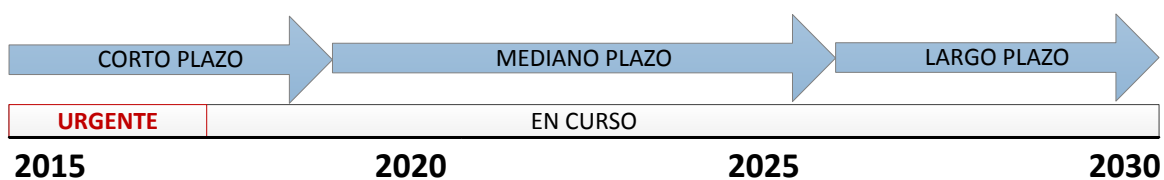


Figura 13: Plazos de ejecución aproximados mencionados en este informe

Algunas de las recomendaciones más importantes a corto plazo están marcadas como "urgente". Recomendaciones que se refieren a las acciones que ya han comenzado, pero que requieren una atención continua, están marcados como "En desarrollo".

2 Visión general

La siguiente declaración incluida en la estrategia de energía marina realizada por el Ministerio de Energía demuestra el interés y el compromiso con la energía marina de Chile:

“El Gobierno de Chile reconoce la importancia de desarrollar fuentes de energía renovable provenientes de su extenso recurso marino para mejorar la seguridad del suministro energético y mitigar los impactos del cambio climático , a la vez, contribuir al desarrollo económico e industrial del país.

Para garantizar la maximización de los beneficios económicos asociados a la utilización del recurso energético marino del país, el Gobierno de Chile desea establecer una “Estrategia de Desarrollo para la Energía Renovable Marina”, que le permita al país apoyar el crecimiento del sector y ejercer un rol activo en el desarrollo de energía marina en sus aguas territoriales”.

(Ministerio de Energía de Chile, 2013)

El Gobierno ha adoptado esta visión directa, motivada por una serie de factores, en particular:

- La creciente necesidad de Chile por una energía más limpia, segura y económica.
- La escala de los recursos de energía undimotriz y, en menor medida, mareomotriz.
- El creciente reconocimiento de la posibilidad de crear puestos de trabajo y atraer inversiones mediante el desarrollo de una industria local.

Recientemente se ha avanzado en forma significativa hacia el cumplimiento de la visión señalada, pero aún queda mucho por hacer. El objetivo de este informe es analizar el progreso y hacer recomendaciones sobre los pasos requeridos para maximizar el potencial de la energía marina de Chile.

2.1 Situación energética mundial

En todo el mundo el uso de la energía se encamina hacia una revolución durante los próximos años. Esta revolución se enfrenta a presiones en conflicto causadas por el rápido aumento de la demanda de energía y a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con el objeto de minimizar la escala del calentamiento global. Los asuntos críticos para el logro de estos objetivos son:

- Introducir y mejorar tecnologías eficientes en el uso de energía y con bajos niveles de emisiones de carbono a fin de diversificar la matriz energética y satisfacer la creciente demanda de energía.
- Cambiar la relación que tiene el ser humano con la energía, convirtiéndola en una materia prima más valorada, con plena conciencia de las consecuencias durante el ciclo de vida, donde los consumidores pagan los costos asociados al ciclo de vida.

En esta compleja revolución de la energía, serán cruciales las formas renovables de captura de energía para electricidad y otros usos.

2.2 El sector energético en Chile

Desde la década de los 70 hasta comienzos de los 90, Chile implementó una serie de reformas para reestructurar, desregular y privatizar el sector eléctrico, con el objeto de crear un clima atractivo para la inversión. Las reformas comenzaron con el desmantelamiento de dos servicios públicos que fueron distribuidos entre siete empresas de generación, ocho de distribución y dos de transmisión. Luego el sector atravesó un periodo de desregulación y privatización que abarcó desde mediados de los 80 hasta comienzos de los 90.

La Ley General de Servicios Eléctricos de 1982 que estableció las reformas, creó una industria de suministro eléctrico basada en el principio de generación y suministro competitivos, con un mercado de electricidad del tipo pool y un operador del sistema. Según la ley, la distribución y la transmisión se consideraron monopolios naturales y los requerimientos de inversión, el acceso de terceros, los precios de acceso a las redes y su uso se mantuvieron regulados.

La generación, la transmisión y la distribución en Chile se desagregan horizontalmente, pero se integran verticalmente, con empresas de generación que poseen activos de transmisión y distribución. Existe un gran número de actores en generación, transmisión y distribución, pero la mayoría de los activos de los tres sectores están todavía en manos de un número pequeño de empresas, con tres a la cabeza: Endesa, AES Gener y Colbún.

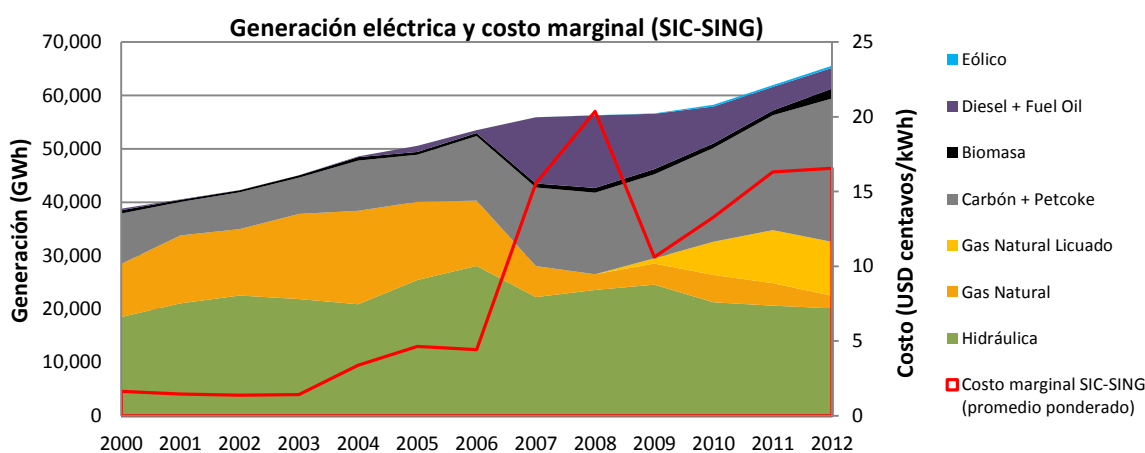


Figura 14: Matriz de generación y costo marginal promedio del SIC y el SING (Fuentes: Ministerio de Energía, CDEC-SIC y CDEC-SING)

Por otra parte, el suministro de electricidad de Chile depende altamente de combustibles fósiles importados (ver Figura 14) y de recursos hidráulicos altamente variables. Estos dos factores hacen que los precios de la electricidad de Chile sean altos y volátiles. La alta dependencia de Chile del gas argentino condujo a una crisis energética durante 2000-2005, cuando Argentina interrumpió repetidamente el suministro del gas contratado. La crisis argentina del gas ha sido un factor preponderante en la formación de la actual estrategia del mercado energético chileno; asimismo, contribuyó al creciente interés en la independencia energética y la seguridad del suministro.

El fuerte crecimiento económico de Chile ha generado una demanda de electricidad en permanente crecimiento que se prevé será más del doble para el año 2030 (ver Figura 15). En la última estrategia de energía para 2012-2030 el Gobierno de Chile enfatizó el uso de energía renovable para satisfacer una parte significativa de este crecimiento.

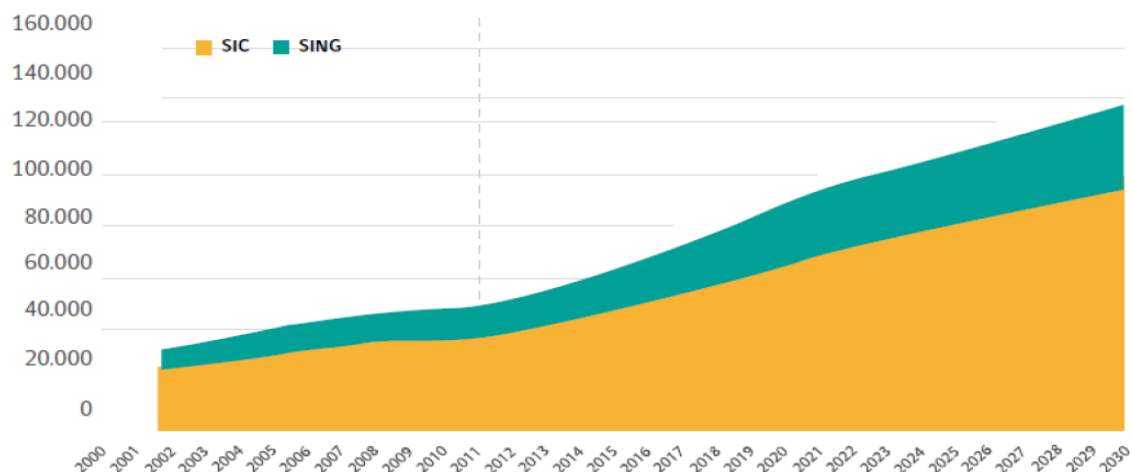


Figura 15: Proyección de demanda de electricidad del SIC y el SING
(Fuentes: CNE y Ministerio de Energía)

Así como la demanda de energía eléctrica, también, existe un importante requerimiento energético para el transporte, los procesos industriales, la agricultura, la calefacción doméstica, etc. Estas formas de uso de la energía ofrecen oportunidades igualmente importantes para las energías alternativas y la creación de nuevos mercados de la energía.

Recomendación 2-A: Integración de las políticas de energías renovables con otras energías, políticas de desarrollo económico y regional; considerar los nuevos usos energéticos

Al analizar los mercados de energía y las tendencias de uso de energía, se recomienda incluir energía eléctrica y no eléctrica en las estadísticas. Esto significa que los mercados energéticos como el transporte, desalinización, bombeo de agua y suministro fuera de red se sumarán a la electricidad con conexión a la red.

Ministerio de Energía y CER

En desarrollo

2.3 La energía undimotriz y mareomotriz en la futura matriz energética

La energía marina tiene el potencial para abastecer a diferentes industrias, comunidades, regiones y países, de maneras diferentes. La captura de energía undimotriz y mareomotriz puede usarse para proveer electricidad, pero también, para fluidos hidráulicos (capacidad de bombeo), desalinización de agua, generación de calor, etc.

La incorporación de la energía undimotriz y mareomotriz en la matriz energética trae beneficios secundarios relacionados con la diversidad de la energía, como la seguridad de la energía y la resistencia ante el aumento de los costos de combustibles. También, trae beneficios indirectos en términos de oportunidades de creación de empleo y desarrollo económico. Conjuntamente con estos beneficios, existen impactos posibles compartidos con los sistemas tradicionales de energía, así como también, nuevos impactos, por ejemplo, en usuarios y compradores marítimos y costeros, que se alimentan de formas de energía actualmente más baratas pero menos sustentables.

Debido a esta combinación de influencias positivas que pueden surgir de la adopción de energía marina, es conveniente planificar dichos desarrollos no solo a nivel estratégico, sino también, a nivel específico de proyecto. El objetivo general de dichas actividades de planificación es garantizar que los desarrollos se lleven a cabo en el mejor lugar, en el mejor momento y de la mejor forma, de modo de maximizar los beneficios y reducir los resultados negativos. Dentro de dicho marco, las olas y mareas tendrán una mayor capacidad para contribuir con la matriz energética general.

2.4 La situación actual – el estado de la energía undimotriz y mareomotriz de Chile

Las tecnologías de la energía undimotriz y mareomotriz se están desarrollando rápidamente, aunque aún están en una etapa de desarrollo pre-comercial, y se espera que sean competitivas con otras formas de energías renovables para mediados de la década de 2020. El hecho que la energía marina renovable aún no se comercialice, significa que Chile tiene la oportunidad de jugar un papel relevante en el desarrollo de estas tecnologías y esta industria. Esto sería más difícil de lograr, por ejemplo, en la industria eólica o solar, donde el mercado ya está consolidado.

En Europa y otras partes del mundo, se han otorgado subsidios significativos para brindar apoyo al desarrollo de las energías undimotriz y mareomotriz. En el Reino Unido, por ejemplo, la electricidad producida por la energía marina puede calificar para obtener un apoyo de generación de demanda del mercado (market pull) equivalente a aproximadamente cinco veces el precio de mercado. Los países que han mostrado interés en invertir en dichos subsidios, han tomado la delantera en la industria emergente de energía marina, poniendo énfasis en el desarrollo de dispositivos de generación de electricidad a escala de servicio público.

Estudio de caso 2-A: Publicación de la AIE sobre energía marina a nivel Internacional

La Agencia Internacional de Energía publica un informe anual sobre el estado de la energía marina a nivel mundial. Es uno de los mejores y más accesibles resúmenes sobre el avance mundial del sector undimotriz y del sector mareomotriz. Sin embargo, este resumen carece de detalles a nivel nacional, por lo que se recomienda ser cauteloso al sacar conclusiones únicamente de dicha publicación.

Recomendación 2-B: Publicación anual sobre el estado de la industria

Sería de utilidad publicar una actualización periódica (anual) sobre los avances realizados en el sector de energía marina. Chile podría considerar la posibilidad de nombrar un representante que forme parte de la comisión de energía marina de la Asociación Internacional de Energía (AIE) y aportar información actualizada a la AIE para la elaboración del informe anual.

Ministerio de Energía

En desarrollo

Chile fue pionero en la desregulación del mercado eléctrico y cuenta con un sistema que opera según un modelo que busca los costos más bajos. Además, las funciones de generación, transmisión y distribución están separadas. A pesar de este enfoque no-intervencionista, se han creado incentivos para la generación de energías renovables. El Gobierno de Chile tiene una meta oficial del 10% de energías renovables no convencionales⁸ y recientemente aumentó su meta al 20% (como meta aspiracional) para el año 2025. Sin embargo, las obligaciones relacionadas con estas metas son neutrales en cuanto a la tecnología, y los precios máximos se fijaron a un nivel relativamente bajo; por lo tanto, no se brinda apoyo a las tecnologías en etapas pre-comerciales.

No obstante, en los últimos tiempos la energía marina renovable ha gozado de un perfil cada vez más alto en Chile. El año pasado, el Gobierno de Chile anunció un apoyo de USD 27 millones para la energía marina; estos fondos se entregarán a través de un Centro de Excelencia en Energía de los Mares (USD 13 millones) y proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz (USD 9 millones y USD 5 millones, respectivamente). El Gobierno, también, ha financiado una serie de estudios relacionados con la energía marina destinados a establecer el estado actual del marco normativo y la tramitación de permisos para proyectos, evaluación de impacto ambiental y capacidad de infraestructura.

⁸ Excluye proyectos hidroeléctricos con capacidad superior a 40 MW.

2.5 Escala y disponibilidad de la energía undimotriz y mareomotriz de Chile

El potencial para el desarrollo de la energía marina en Chile es bien conocido y ha sido tratado en otros estudios (E&A/UoE, 2012), (Garrad Hassan, 2009). Podría argumentarse que Chile es el mejor lugar del mundo para la energía undimotriz, con más de 4.000 km de costa expuesta al intenso y constante oleaje del Océano Pacífico, y con centros de demanda de electricidad en la costa o cerca de ella. Los recursos de energía mareomotriz de Chile, también, son significativos, particularmente en el canal de Chacao y el Estrecho de Magallanes, así como también, en muchos sitios más pequeños en todo el sur de Chile. Como se muestra en la Figura 16, a continuación, la energía undimotriz es el recurso renovable más grande de Chile y aunque gran parte de esta energía está ubicada costa afuera de la Patagonia (lejos de la demanda de energía), los estudios mencionados anteriormente han demostrado que la actividad undimotriz es lo suficientemente intensa como para generar energía en toda la costa expuesta de Chile.

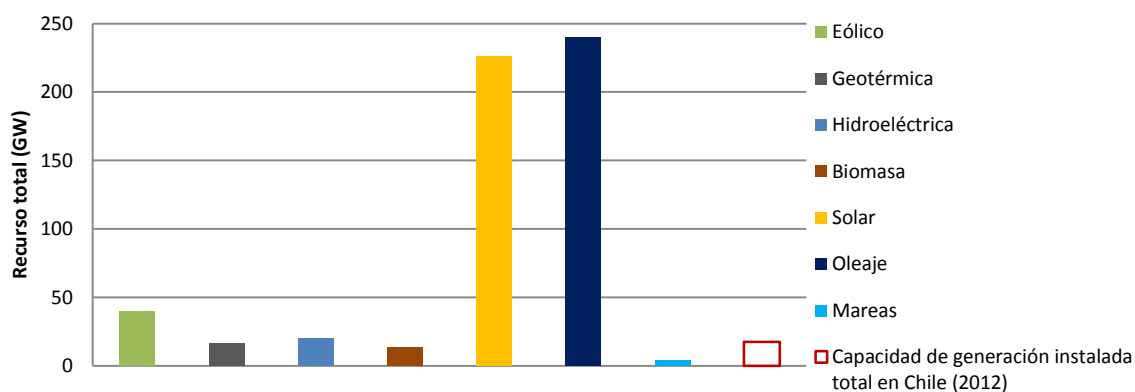


Figura 16: Recursos de energía renovable totales de Chile (bruto) y capacidad de generación actual (incluyendo no renovable) (Fuentes: Centro de Energías Renovables; Baird & Associates)

Nota: Este informe contempla energía undimotriz y mareomotriz; no considera otras fuentes de energía tales como energía eólica marina o el gradiente térmico oceánico.

En el norte de Chile en particular, la alta consistencia del régimen de energía undimotriz puede ser una ventaja importante para equilibrar los requerimientos de energía, ya que las fluctuaciones de la energía undimotriz disponibles son independientes de los cambios de radiación solar o de los efectos térmicos del viento.

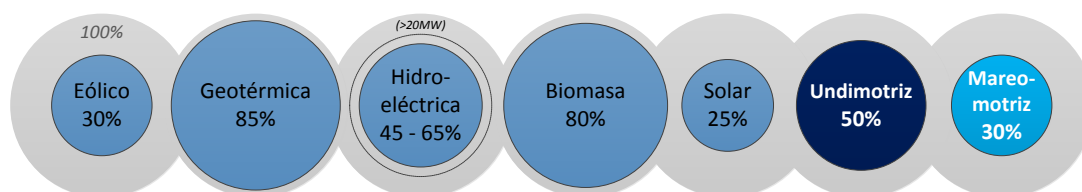


Figura 17: Factores de planta típicos para la energía renovable en Chile

En la Figura 17 se comparan estimaciones de factores de planta chilenos para olas y mareas con valores típicos de otras formas de generación renovable (Ministerio de Energía, 2012). Los factores de planta para proyectos de energía undimotriz en Chile serán mayores que en muchos otros lugares en el mundo (Monárdez, et al., 2008). No obstante de ello, la alta consistencia del régimen de energía undimotriz supondrá un desafío para las operaciones marinas.

Los proyectos relacionados con las mareas tienden a tener factores de capacidad más bajos debido a los periodos de inactividad experimentados cuando el flujo se revierte, pero estas fluctuaciones son altamente predecibles y, como en el caso de las variaciones en los niveles de energía undimotriz, están desfasados en relación con los efectos solares y eólicos. Por otra parte, los sitios con mejores mareas de Chile se encuentran más protegidos contra elementos flotantes (hielo/árboles) y la acción de las olas que otros sitios del mundo tales como la Bahía Fundy de Canadá y Pentland Firth de Escocia. Gracias a esta ventaja chilena, el diseño, la instalación y la operación de los equipos es más directo e implica menores riesgos; por lo tanto los costos se reducen.

Las siguientes secciones de este informe intentan evaluar, en función del estado actual del desarrollo internacional de la energía marina y la política de Chile, qué medidas podrían incluirse en la estrategia de energía marina del Gobierno de Chile para fomentar la comercialización de la energía marina lo antes posible, lo cual produciría puestos de trabajo, inversiones y, en última instancia, una nueva industria chilena.

Recomendación 2-C: Definición del rol futuro que cumplirá la energía undimotriz y mareomotriz en Chile

Se visualizan diversos beneficios al identificar roles claros y realistas para la energía undimotriz y mareomotriz en la matriz energética de Chile. Cada forma de energía cumplirá un rol muy diferente. La energía mareomotriz es limitada en escala y distribución global, pero como una tecnología más desarrollada tendrá un papel importante que desempeñar en la demostración de la viabilidad de los proyectos de energía marina en Chile.

La energía undimotriz es más abundante y la escala de potencial es, tal vez, ciento de veces mayor que la de las mareas. Se necesita una comprensión más exhaustiva del potencial total de la energía undimotriz para suministrar electricidad a la red chilena y para apoyar a la industria, así como a las comunidades aisladas costeras e insulares.

El **Ministerio de Energía** y el **CER** ya se encuentran apoyando proyectos para desarrollar conocimiento con respecto a los recursos energéticos marinos de Chile, y es de esperar que esto continúe (ver también, Recomendación 2-D a continuación y la Recomendación 5-B, página 46).

Una comprensión más completa de los roles futuros de la energía undimotriz y mareomotriz en Chile, podría ayudar a formular una estrategia de energía marina en forma adecuada (ver también, Recomendación 4-P, página 33). Es de importancia incluir en este trabajo el potencial que tiene Chile para actuar como puerta de entrada para el desarrollo e implementación de tecnología en América Latina y en el mercado de Asia/Pacífico.

Ministerio de Energía / CER

Mediano a largo plazo

Recomendación 2-D: Caracterización del recurso mareomotriz

El recurso undimotriz de Chile ya se ha delineado y esquematizado a un nivel de detalle suficiente para fines de planificación en un plazo cercano (ver mapas regionales). Sin embargo, es necesario entender en más profundidad la distribución y la escala de los recursos de las corrientes de mareas de Chile.

Ministerio de Energía / CER

Corto plazo

3 Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía de Chile

El Gobierno de Chile ha publicado una Estrategia Nacional de Energía para el período 2012-2030 (Gobierno de Chile, 2012). Los pilares fundamentales de esta estrategia son aumentar la contribución de energías renovables no convencionales e impulsar la eficiencia energética. El Ministerio de Energía tiene por objetivo desarrollar estrategias individuales para cada fuente de Energías Renovables No Convencionales (ERNC, ver definición en glosario). En junio de 2013, el Ministerio de Energía publicó un informe sobre su estrategia preliminar de energía marina, con la siguiente declaración:

“El Gobierno de Chile reconoce la importancia de desarrollar fuentes de energía renovable provenientes de su extenso recurso marino para mejorar la seguridad del suministro energético y mitigar los impactos del cambio climático y a la vez contribuir al desarrollo económico e industrial de la nación.

Para garantizar la maximización de los beneficios económicos asociados a la utilización del recurso energético marino del país, el Gobierno de Chile desea establecer una “Estrategia de Desarrollo para la Energía Renovable Marina” que le permita al país apoyar el crecimiento del sector, y ejercer un rol activo en el desarrollo de energía marina en sus aguas territoriales”.

(Ministerio de Energía de Chile, 2013)

Cabe destacar que según un estudio sobre el desarrollo de energía marina de 2012 llevado a cabo por Errázuriz y Asociados y la Universidad de Edimburgo, se delinean dos estrategias posibles que Chile podría seguir:

- Una estrategia de **desarrollo**, según la cual el país brindaría apoyo al sector a fin de tener un rol activo en el desarrollo de las tecnologías de energía marina y gozar de los beneficios económicos asociados.
- Una estrategia de **implementación**, según la cual el país esperaría que la tecnología se desarrollara en el extranjero antes de adquirir e implementar los dispositivos para sacar provecho de los beneficios asociados con la explotación de los recursos del país.

(E&A/UoE, 2012)

Por lo tanto, es alentador que el Gobierno de Chile haya manifestado explícitamente su preferencia por seguir la estrategia de desarrollo. En una comunicación sobre la estrategia de energía marina de Chile (difundido por el Ministerio de Energía en 2013) se señalan cuatro pilares estratégicos como se muestra en Figura 18.

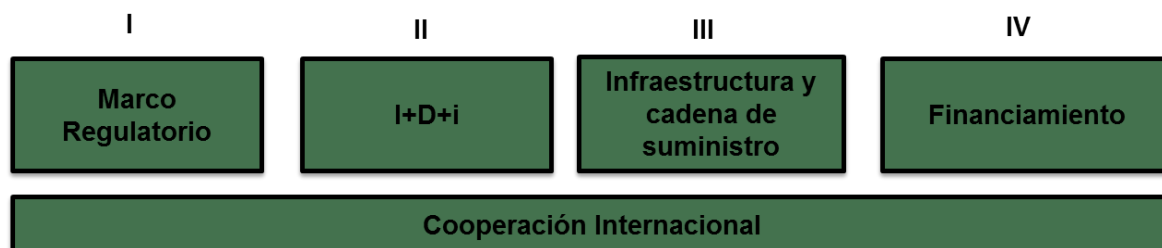


Figura 18: Pilares fundamentales de la Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía de Chile

El primer pilar estratégico se relaciona con el desarrollo de un marco normativo robusto para los proyectos de energía marina y la clarificación del proceso de otorgamiento de concesiones marítimas para proyectos de energía marina en Chile. Se incluye un análisis de los impactos medioambientales y sociales de los proyectos de energía marina, con el fin de elaborar directrices para los desarrolladores de proyectos y confirmar que el sistema actual responde a las necesidades del sector de la energía marina. Asimismo, se fomenta la cooperación entre las agencias gubernamentales con responsabilidades en este ámbito.

El segundo pilar estratégico se enfoca en la innovación, investigación preliminar (pero principalmente aplicada) y desarrollo de servicios y de capital humano especializado. El objetivo es consolidar las capacidades de investigación de Chile y fortalecer los vínculos internacionales. En este sentido, la creación de un Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares es un factor clave de esta estrategia.

Los avances tecnológicos asociados con I+D y la actividad de innovación se subrayan como esenciales para el desarrollo emergente de una industria viable de energía marina, destacándose las siguientes áreas entre las de mayor importancia:

- Reducción del costo de tecnología y su adaptación a las condiciones chilenas
- Evaluación de recursos específicos del sitio y evaluación de impacto medioambiental
- Creación de sistemas para comunidades aisladas
- Sinergias con otras industrias, por ejemplo, desalinización y bombeo de agua para la industria minera o sistemas de energía sin conexión a la red para granjas salmoneras.

El tercer pilar estratégico considera la infraestructura (inclusive la red eléctrica) y la cadena de abastecimiento. El Ministerio de Energía estudiará los sitios con infraestructura existente o con el potencial para desarrollar capacidad, que puedan apoyar a la industria de la energía marina, con miras a generar un plan de desarrollo de mediano a largo plazo para aquellas áreas con un alto potencial. También, es importante considerar los requerimientos de la industria en cuanto a la capacidad de la red eléctrica y las bases de operación y mantenimiento, al igual que el fortalecimiento de las asociaciones industriales del sector.

El cuarto pilar estratégico busca brindar instrumentos que incentiven y promuevan la inversión en la energía marina, a través de la transferencia de tecnología y el desarrollo de la industria local. Dichos instrumentos atraviesan los otros pilares estratégicos y se enfocan en aspectos específicos que han sido identificados como barreras al ingreso de proyectos de energía marina. Se incluirán dos fondos para los primeros Proyectos Piloto de energía marina en Chile. Dado los desafíos relacionados con el financiamiento de proyectos de energía marina, es necesario considerar la investigación de futuras medidas de apoyo. Finalmente, se plantea mejorar la comunicación con los bancos nacionales como una manera de mitigar la percepción del riesgo de la industria para los financistas.

Por último, el Ministerio de Energía ha delineado un eje sobre colaboración internacional que abarca acuerdos de cooperación recientes, firmados o en vías de preparación, por ejemplo, con Massachusetts, el Reino Unido, Rusia y Corea del Sur, así como también, diversos proyectos de colaboración y medidas de apoyo específicas dentro de cada una de las cuatro áreas de actividad.

El siguiente capítulo de este informe trata a su vez cada una de estas áreas, analizando la política vigente y el avance a la fecha, elaborada en recomendaciones específicas basadas en la experiencia del Reino Unido y la experiencia internacional y —crucialmente— en los resultados de un proceso extenso de consulta e investigación local llevado a cabo por el equipo del proyecto.

El Ministerio de Energía planifica publicar la primera versión de su Estrategia de Energía Marina durante el año 2014. Se espera que este informe se actualice periódicamente. Hasta la fecha, la Estrategia de Energía Marina del Gobierno de Chile ha sido desarrollada por la División de Energías Renovables del Ministerio de Energía, a través de la consulta y la coordinación con otros departamentos ministeriales y organizaciones no gubernamentales. Este informe formula recomendaciones enmarcadas en esa estrategia, pero también, incluye sugerencias para el sector de la energía marina en general. Algunas de estas propuestas requieren una acción por parte del Gobierno central o de organizaciones industriales o académicas, y por tanto, no sería apropiado para su inclusión directa en la estrategia del Ministerio de Energía (ver también Recomendación 4-P, página 33).

4 Marco Regulatorio

4.1 Introducción

El primer pilar del proyecto de Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía se refiere al marco regulatorio. Es importante hacer la distinción entre dos áreas clave en el marco regulatorio para la energía marina:

1. **Derechos legales o comerciales para hacer uso del mar/fondo del mar.** En la actualidad, en Chile dichos derechos son administrados por un sistema de concesiones marítimas controlado por la Subsecretaría de Marina (SUBSECMAR), aunque existen planes para transferir dichos poderes al Ministerio de Bienes Nacionales, actual administrador de las concesiones terrestres.

Nota: en el Reino Unido, generalmente éstos han sido gestionados por un sistema de arriendo a tarifas comerciales administrado por el Crown Estate, ver Estudio de caso 4-B, página 20.

2. Restantes **permisos y licencias** necesarias para el desarrollo y trabajo en terreno, incluyendo permisos de obras, estudios de impacto ambiental (EIA), permisos de navegación, concesiones para conexión a la red eléctrica, etc.

Otros aspectos de la energía marina que pueden estar sujetos a influencia y control regulatorio:

- Planificación del espacio marítimo
- Tarifas de generación y estándares de generación (ver Sección 6.1 sobre red eléctrica)
- Salud y seguridad laboral marítima y disposición de preparativos para emergencias.
- Comercio marítimo y navegación (ver Capítulo 6, Infraestructura y cadena de suministro)

Este capítulo trata el desarrollo del marco regulatorio en Chile respecto de las concesiones marítimas, permisos/licencias, planificación del espacio marítimo, y salud y seguridad.

4.2 Políticas vigentes

Entre los puntos clave de la Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía (Ministerio de Energía de Chile, 2013), se encuentran:

- Se requiere un marco regulatorio transparente que evite poner barreras a la generación de la energía marina. Es necesario transparentar las reglas para la obtención de concesiones marinas para proyectos de energía marina.
- El Ministerio de Energía debiera establecer un grupo de trabajo junto a la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, actual administrador de las concesiones marítimas.
- El plan para transferir el control sobre las concesiones marítimas desde la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas perteneciente al Ministerio de Defensa, hacia el Ministerio de Bienes Nacionales es un cambio regulatorio que, según el Ministerio de Energía, debiera simplificar el proceso y reducir los tiempos asociados esta regularización.

Nota: Según un reciente estudio de Philippi et al (Philippi Abogados, 2012), dicho cambio forma parte de una ley de amplio alcance, que rige la administración de las concesiones marítimas y costeras, el cual podría incluir reformas tales como:

- *Permitir dos o más concesiones otorgadas para una misma área (a menudo difícil o imposible en la actualidad; ver discusión y Tabla 3 a continuación);*

- *Reducir el plazo máximo de concesión desde 50 a 30 años, pudiendo así liberar áreas de desarrollo.*
- *Incrementar la regulación de apelaciones a las solicitudes de concesión, para evaluar las bases de las apelaciones antes de que las solicitudes sean detenidas.*
- Se deben evaluar las normativas y los procedimientos con el fin de identificar, designar y proteger áreas con un alto potencial para proyectos de energía marina.
- Se requiere evaluar los impactos medioambientales y sociales de los proyectos de energía marina, para lo cual el Ministerio de Energía trabaja junto al Servicio de Evaluación Ambiental en el desarrollo de una guía de evaluación medioambiental para proyectos de energía marina.
- Se deben clarificar los roles de las distintas instituciones involucradas en el desarrollo de energía marina y establecer mecanismos de coordinación entre los ministerios de Bienes Nacionales, Medio Ambiente, Economía, Obras Públicas y otros.
- La participación del Ministerio de Energía y de los SEREMIS en la Comisión Nacional de Uso del Borde Costero y la Comisión Regional de Uso del Borde Costero.

Estudio de caso 4-A: Marco Regulatorio en Escocia

En Escocia, en la última década, se han realizado cambios en el régimen de planificación y otorgamiento de licencias para tratar con nuevos usos del entorno marino. Entre los desarrollos más importantes para el sector energético marino se encuentran:

- Establecer una "ventanilla única" para licencias marinas, (un único punto de contacto al interior del Gobierno para todas las licencias y los permisos) y asimismo, simplificar las autorizaciones y licencias necesarias para proyectos en entornos marinos.
- Desarrollar directrices para el desarrollo industrial a la medida y políticas de gestión flexibles para la energía marina en particular.
- Recolección estratégica de datos coordinada a nivel nacional y monitoreo ambiental.
- Una evaluación ambiental estratégica (EAE) para energías renovables marinas que identifique las áreas del país con menor y mayor potencial de sufrir impactos ambientales significativos.
- Planificación del espacio marítimo, particularmente en la identificación y designación de áreas específicas como zonas prioritarias para la explotación de la energía marina.
- El Crown Estate ha otorgado derechos comerciales (arriendo) a desarrolladores de proyectos energético marinos antes de otorgar permisos y concesiones (estudio de caso a continuación), ofreciendo a los desarrolladores mayor seguridad antes de comenzar el proceso de permisos.

Aunque se ha hecho un gran esfuerzo en Escocia específicamente para ajustar el marco normativo de la energía marina con un progreso significativo, es importante aprender en lugar de copiar las disposiciones reglamentarias existentes (ya sea en el ámbito nacional o internacional desde otros sectores). En muchos casos, los controles regulatorios existentes son demasiado complejos y precavidos en comparación con el nivel de riesgo que implica. Por el contrario, los niveles de control aplicados a la seguridad son a menudo menores de lo adecuado. Chile tiene la oportunidad de establecer nuevos y adecuados estándares para la energía marina que podrían convertirse en un modelo para otros países, en caso de que encuentren el justo equilibrio entre el control y la facilitación. Ver, también, Recomendación 4-O, página 31.

Recomendación 4-A: Desarrollo de un marco regulatorio (implementación de las mejoras propuestas)

Sería beneficioso si las mejoras propuestas en el marco normativo se pudieran implementar en el corto plazo. El **Gobierno de Chile**, también, podría examinar qué mejoras adicionales se podrían hacer, en base a las lecciones aprendidas en el sector de la energía marina en otros países y de otros sectores en Chile. Algunas sugerencias más detalladas se proporcionan a continuación.

Gobierno de Chile

Corto plazo

4.3 Arriendos y concesiones

En Chile, actualmente las concesiones marítimas (o arriendos) son administradas por la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas (SUBSECMAR). Los desarrolladores deben postular para concesiones marítimas por separado, pudiendo tratarse de:

- **Porción de agua:** columna de agua y superficie
- **Fondo de mar**
- **Playa del mar:** área entre las mareas alta y baja
- **Terreno de playa:** una faja de tierra costera de 80mt de ancho comúnmente considerada un bien nacional (estatal)

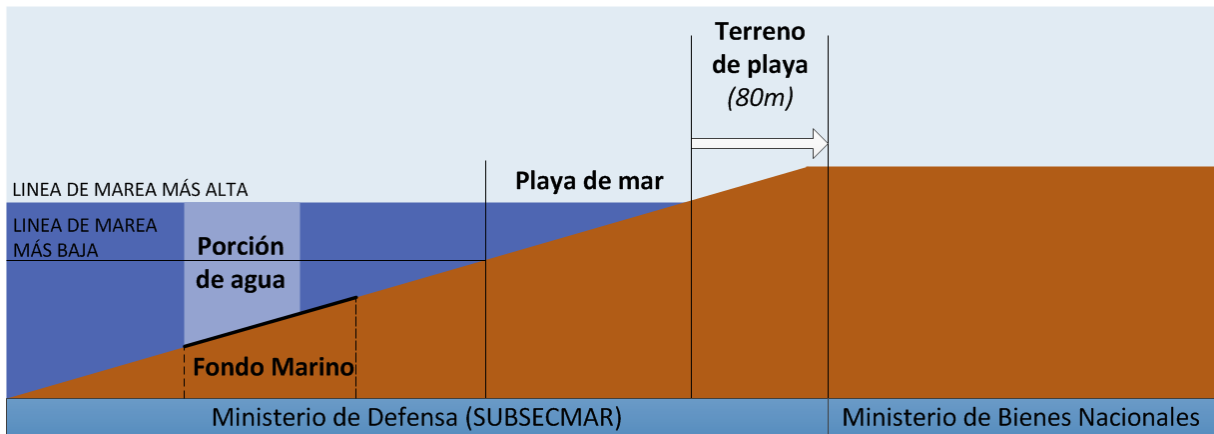


Figura 19: Tipos de concesiones marítimas en Chile

Según destaca el estudio de la Universidad de Edimburgo/Errázuriz (2012), el marco regulatorio chileno es robusto pero carece de claridad respecto del proceso para otorgar permisos de explotación de sitios de energía marina, pudiendo de esa manera obstaculizar este tipo de proyectos. Sin embargo, algunos desarrolladores de tecnología chilenos ya han instalado y probado dispositivos utilizando concesiones marítimas temporales disponibles (*Concesión marítima temporal*).

En tanto la propuesta de transferir la responsabilidad por las concesiones marítimas desde la SUBSECMAR al Ministerio de Bienes Nacionales, tiene el potencial de simplificar el sistema, el cambio podría demorar varios años, lo cual crearía un área gris para los primeros proyectos a desarrollar. El establecimiento de criterios transparentes para la evaluación de proyectos de energía marina en el corto plazo, evitaría las consecuentes decisiones discrecionales y la "falta de capacidad técnica" del Ministerio de Bienes Nacionales que se estima como consecuencia del cambio (Philippi Abogados, 2012). La propuesta para capacitar a empleados clave en el tema, también, reduciría el riesgo (E&A/UoE, 2012).

Otro desafío es evitar que las concesiones sean "capturadas" por especuladores, un problema, hasta cierto grado, extendido en las industrias chilenas solar y eólica, dado que se han otorgado concesiones que podrían haber estado bajo un control más riguroso, por ejemplo, con incentivos y multas para asegurar el progreso de los proyectos de acuerdo a los plazos estimados y para limitar el tiempo de concesión, en caso que los proyectos no se desarrollen.

El estudio realizado por Philippi et al. consideró proyectos de energía marina de alrededor de 100 MW, concluyendo que el proceso para asegurar concesiones marítimas para dichos proyectos - que involucran a diversas autoridades - es "lento, complejo e incierto", y podría demorar, por lo menos, uno o dos años en completarse (Philippi Abogados, 2012). Se requiere mayor consideración para los proyectos de menos de 100 MW que se instalarán por primera vez en Chile.

Recomendación 4-B: Desarrollo de reglas claras para las concesiones de energía marina; reducción de la incertidumbre en torno a la transferencia de competencias desde SUBSECMAR (Ministerio de Defensa) al Ministerio Bienes Nacionales

Las normas relacionadas con proyectos de energía marina (incluyendo autorizaciones especiales para etapas tempranas de proyectos de menos de 100 MW) debieran ser clarificadas en el corto plazo, para así reducir la incertidumbre asociada a estos proyectos y a la posible transferencia de la responsabilidad de concesiones marinas desde **SUBSECMAR (Ministerio de Defensa) al Ministerio de Bienes Nacionales**.

Gobierno de Chile

Urgente

Recomendación 4-C: Capacitación de funcionarios clave con respecto a concesiones marinas

Según lo propuesto por Errázuriz y Asociados (E&A/UoE, 2012), el organismo encargado de las concesiones marinas podría considerar la capacitación de personal clave en la evaluación de proyectos de energía marina, para transferir a la industria la experiencia y competencias adquiridas en los desarrollos a nivel internacional.

La agencia responsable en 2013 fue SUBSECMAR (Ministerio de Defensa), pero esto puede cambiar en un corto plazo al Ministerio de Bienes Nacionales en el marco del proyecto de ley mencionada en la Recomendación 4-B anterior.

Gobierno de Chile

Corto plazo

Otro problema destacado en el estudio son los potenciales conflictos con otros usuarios del mar. Generalmente, se otorga un solo tipo de concesión para una determinada área. En la Tabla 3 se dan algunos ejemplos de casos en donde las concesiones marítimas requeridas para los proyectos de energía marina podrían ser combinadas con otros tipos de concesión.

Tabla 3: Compatibilidad de distintas concesiones en Chile

Tipo de concesión	Compatibilidad con concesión marítima
Pesca y acuicultura	Compatible con la autorización del actual tenedor de concesión.
Área de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos, (AMERB)	
Espacio Costero Marino de los Pueblos Originarios, (ECMPO)	
- Obras Portuarias	Permisible, dependiente de las limitaciones definidas en la concesión.
- Tráfico Marítimo	Permisible, la obra debe ser notificada/demarcada en forma apropiada.
- Áreas turísticas	Permisible en algunos casos
- <u>Áreas protegidas</u>	<u>Permisible?</u>
- Parques nacionales	No
- Reservas nacionales	Sí
- Reservas de zonas vírgenes	No
- Monumentos nacionales	Sí
- Santuarios naturales	Sí
- Parques y reservas marinas	No
- Áreas protegidas en el espacio costero marino	Sí
- Sitios prioritarios para la conservación de biodiversidad	Sí
- Sitios Ramsar	Sí

Se ha estudiado la posibilidad de que el Gobierno de Chile establezca autorizaciones especiales para la fase inicial de proyectos de energía marina, lo cual apoyaría el desarrollo de la industria. Esto podría tomar la forma de autorizaciones de exploración/explotación para actividades mineras (administradas por el Ministerio de Minería), o para proyectos de energía geotérmica (administrados por el Ministerio de Energía).

Estudio de caso 4-B: Arriendos en el Reino Unido

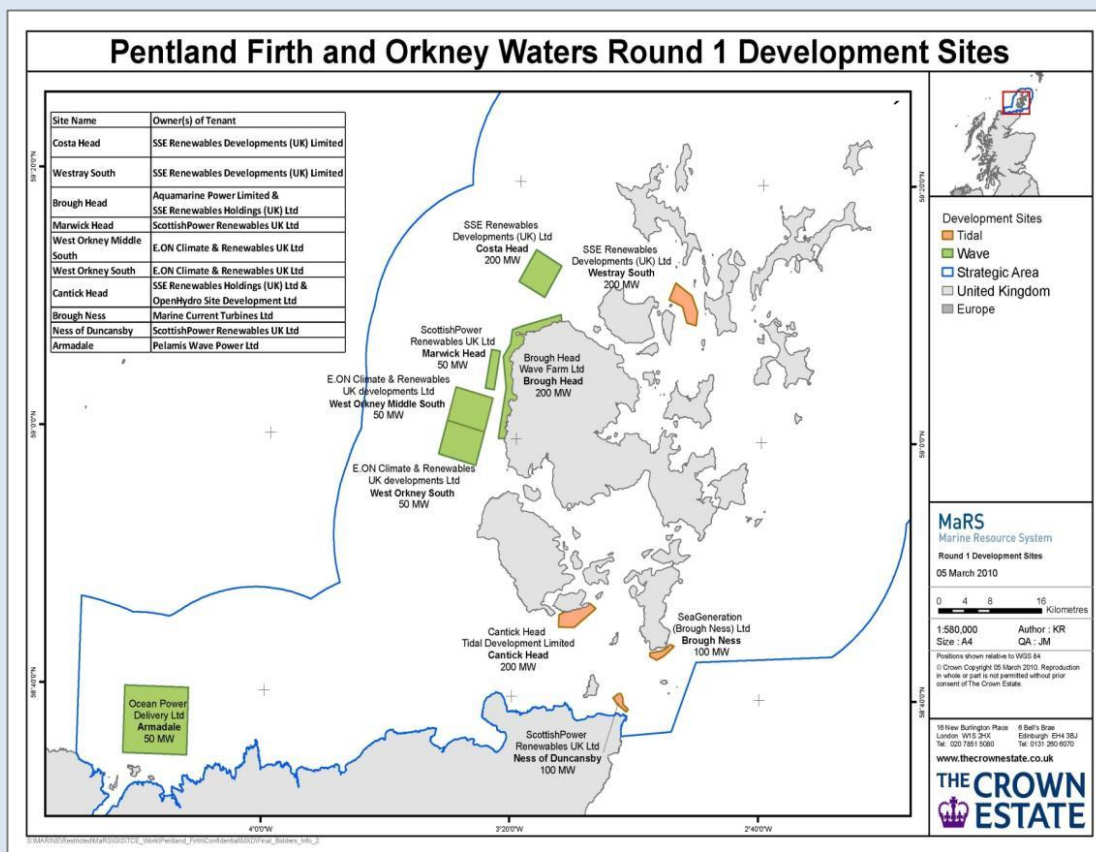


Figura 20: Ronda de arriendos en Pentland y Orkney Waters, Reino Unido

A pesar de los arduos esfuerzos de Escocia para simplificar los procesos de otorgamiento de derechos comerciales del lecho de mar para desarrolladores de energía marina, el camino para obtener los permisos de uso de un sitio ha estado rodeado de problemas, los que pueden entregar diversas enseñanzas.

Uno de los mecanismos adoptados por el Reino Unido para acelerar el crecimiento de su industria de energía marina fue la introducción en 2009 de arriendos del fondo de mar a tarifas comerciales, asegurando a los desarrolladores de tecnologías y proyectos de energía marina las opciones futuras de arriendo a mediano plazo para las áreas del fondo de mar.

Este proceso fue gestionado por una organización conocida como The Crown Estate. Dicha organización tiene los derechos para arrendar el fondo de mar a tarifas comerciales a quienes quieran hacer uso de este. The Crown Estate se aleja, en cierto modo, de las estructuras normales de gobernación en el Reino Unido y tiene un importante grado de autonomía para actuar. En 2009, luego del llamado del Gobierno de Escocia para acelerar la explotación de la energía marina, The Crown Estate decidió unilateralmente realizar una ronda de arriendo a tarifas comerciales para energía marina en el área individualizada como área estratégica de Pentland Firth y Orkney Waters (ver mapa arriba).

El proceso de arriendo que siguió inicialmente atrajo a 41 interesados, de los cuales 15 fueron invitados a una ronda final de propuestas y negociaciones. Finalmente, siete organizaciones firmaron acuerdos con The Crown Estate para opciones de arriendo que cubrieron diez propuestas de proyecto individuales. Las opciones de arriendo inicialmente acordadas sumaron una capacidad instalada de 1.200 MW. Debido al retiro de un candidato a explotación de uno de los principales sitios mareomotrices, se realizó una mini de arriendo adicional para el estrecho interior de Pentland Firth. Esta resultó en el otorgamiento de la opción de arriendo para 400 MW, totalizando ocho desarrolladores, once proyectos y una capacidad instalada de 1.600 MW. Los postulantes ganadores incluían varias compañías de electricidad y tecnológicas del Reino Unido.

(Continúa en la siguiente página)

...

Estudio de caso 4-B: Arriendos en el Reino Unido (Cont.)

Algunas lecciones importantes aprendidas en este proceso se encuentran en los siguientes puntos y en las recomendaciones que presiden este caso de estudio:

- Son aceptables los casos donde dos empresas terminen compitiendo por el mismo espacio de mar y los demás factores asociados a la solicitud. Se debiera negociar y llegar a una solución donde todos ganen, lo que permita a ambas partes solicitantes proseguir. Solicitudes para proyectos pilotos a pequeña escala que son parte de grandes procesos de arriendo deben ser fomentadas, pero limitadas en el tiempo.
- La entrega en arriendo u opciones de arriendo debiera estar ligada a cronogramas de explotación convenidos para así evitar especulaciones. Atrasos en el cronograma debieran estar sujetos a sanciones, por ejemplo, la anulación del arriendo o la reducción de la capacidad instalada de lo otorgado en arriendo por un porcentaje para cada periodo de retraso (podría ser un año). Otros factores clave de desempeño, también, debieran estar asociados a premios o sanciones. Éstos podrían incluir la seguridad del proyecto, satisfacción en la comunidad, patrón de suministro de energía, costos de energía, etc.
- La magnitud de todo arriendo otorgado debe ser el reflejo de la situación del sector, en particular
- respecto de la disponibilidad de tecnología y la experiencia demostrable de los solicitantes. Los proyectos menores a 10 MW probablemente constituyan un primer paso factible; ya que aún no se han implementado proyectos de esta magnitud.
- A pesar de que uno de los objetivos establecidos en el proceso de arriendo era evitar que áreas de fondo de mar fueran "acaparadas" prematuramente, el resultado del enfoque escogido falló en lograr lo anterior debido a la excesiva asignación de áreas a un número pequeño de compañías, y la creación de zonas expansivas de amortiguación alrededor de las áreas en opción de arriendo, que aún no han comenzado el proceso de desarrollo.

Sin embargo, mantener los derechos de uso del fondo de mar, ha permitido a los desarrolladores de tecnología exitosos adoptar una doble estrategia de desarrollar su tecnología y solicitar todas las autorizaciones y los permisos necesarios, para tener sitios disponibles para uso comercial cuando su tecnología esté lo suficientemente madura. Queda claro que la publicidad suscitada en torno a esta ronda de arriendo a tarifas comerciales, también, ha aportado a llevar a la industria de energía marina en el Reino Unido a una posición de liderazgo internacional.

Recomendación 4-D: Consulta para coordinar el arrendamiento de zonas del mar

Es conveniente que cualquier liberación de área o fondo de mar para proyectos energéticos marinos, sea coordinada con los departamentos pertinentes del Gobierno central, regional y local. Los grupos públicos y locales existentes de usuarios del mar, también, deben ser consultados e involucrados en cualquier proceso de concesiones marinas asignadas para proyectos de energía marina. El propuesto atlas marino puede servir de apoyo en este proceso. (Recomendación 4-N, página 30).

Gobierno de Chile

Corto plazo

Recomendación 4-E: Concesión de áreas prioritarias para el desarrollo de las energías marinas

El Gobierno de Chile podría considerar la selección y asignación de zonas de desarrollo prioritario para los proyectos de energía marina en etapa temprana. Mientras que el actual sistema de concesiones marítimas será adecuado para algunos desarrollos, una iniciativa respaldada por el Gobierno para identificar y arrendar los mejores sitios podría acelerar este proceso.

La creación de dicho proceso de arrendamiento del lecho marino, tendría que ser adaptado a los niveles previstos de desarrollo. Por ejemplo, puede ser conveniente establecer un proceso de arrendamiento para proyectos de menos de 10 MW en el mediano plazo, y un proceso de arrendamiento diferente para los proyectos más grandes en el largo plazo. Esto podría estar vinculado, de manera que los proyectos de demostración inicial pudieran expandirse a los sitios de etapa comercial.

Los términos del arrendamiento podrán ser utilizados por los Gobiernos (u organizaciones de apoyo financiero) para el desarrollo directo de las áreas más adecuadas, además, debe considerarse la agrupación de proyectos para maximizar el uso de los recursos.

Las consultas y la coordinación entre departamentos públicos pueden apoyar el desarrollo de un proceso de arrendamiento robusto, que idealmente debiera ser lo más transparente posible.

Puede ser beneficioso permitir la negociación entre empresas que compiten por las mismas áreas del lecho marino, pero las garantías y los incentivos son necesarios para evitar la especulación y favorecer los proyectos exitosos.

Nota: ver, también, Recomendación 4-L en la Sección de Planificación del espacio marino, página 27.

Gobierno de Chile

Mediano plazo

4.4 Permisos y Licencias

Los permisos y las licencias otorgan un marco referencial para establecer cómo un proyecto debiera ser implementado en un lugar en particular. Se considera el tipo de trabajo que se debe realizar, la legislación aplicable en un sitio en particular, los impactos que puedan existir, los medios para mitigar éstos y las vías para maximizar las externalidades positivas, etc. Lo anterior, en contraste a los arriendos o las concesiones que entregan derechos de acceso a un área marítima o fondo de mar en particular. La Figura 21 presenta los permisos que pueden ser requeridos para implementar un proyecto de energía marina en Chile.

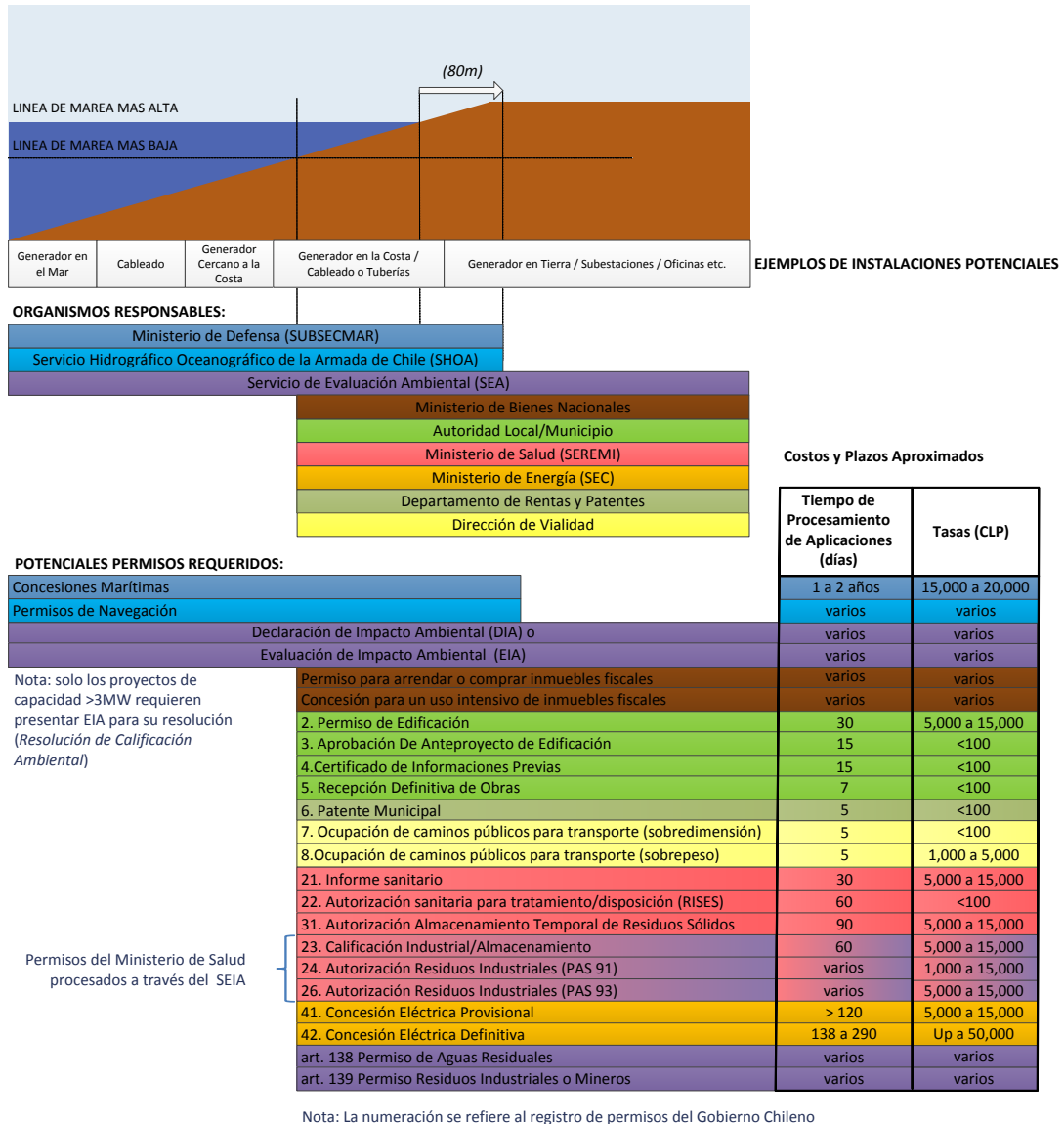


Figura 21: Mapa funcional que resume los principales requisitos de obtención de permisos para proyectos de energía marina en Chile (2012)

Nota: Los costos y plazos pueden variar en gran manera dependiendo del tipo de proyecto

Los requisitos de permisos presentados arriba se basan en el propio análisis de Aquatera y no son necesariamente definitivos. Aunque existe un gran número de organizaciones y permisos presentados, se debe señalar que muchos de los requisitos de permisos mostrados son relativamente sencillos y de bajo costo. De hecho, no se ha comprobado que el desarrollo de un proyecto de energía marina sería más oneroso en Chile que, por ejemplo, en el Reino Unido.

Recomendación 4-F: Producción de un manual de permisos para proyectos de energía marina

Sería beneficioso elaborar un manual de permisos para los desarrolladores de proyectos de energía marina, que describa todos los pasos necesarios y los organismos responsables del otorgamiento de permisos para los proyectos de energía marina.

Esto podría complementar el reciente estudio de marco regulatorio para la energía marina (Philippi Abogados, 2012), pero incluyendo, además, detalles sobre los requisitos para proyectos de tamaño menor a 100 MW, así como de otros permisos requeridos (algunos de los cuales se muestran en la Figura 21). Asimismo, la guía para la evaluación de impacto ambiental de los proyectos de energía marina que se desarrollará por el Ministerio de Medio Ambiente, también, apoyaría esta iniciativa.

Dicho manual de licencias podría ser similar al documento que el Centro de Energías Renovables (CER) ya ha producido para los proyectos hidroeléctricos, o al borrador del Manual de Permisos para Energías Renovables Marinas (Gobierno de Escocia, 2012).

Centro de Energías Renovables (CER)

Corto plazo

Recomendación 4-G: Compartir la información para la aprobación de licencias

Cuando sea posible, sería beneficioso si la información, y en particular los datos ambientales presentados por los desarrolladores de proyectos, se hacen públicos o son compartidos entre los desarrolladores. Los reguladores, también, pueden optar por apoyar a los desarrolladores de los proyectos en etapas iniciales para recoger datos de forma colaborativa.

Gobierno de Chile

Corto plazo

4.4.1 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Se debe considerar que proyectos menores a 3 MW no requieren ser evaluados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). De aquellos proyectos que sí necesitan ser evaluados por el SEA, no todos requieren un estudio de impacto ambiental detallado, en algunos casos basta con una declaración de impacto ambiental. La Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos de energía marina es elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente.

Estudio de caso 4-C: Política de estudio, implementación y monitoreo en Escocia

El Gobierno de Escocia ha buscado gestionar los riesgos medioambientales de los proyectos de energía marina sin establecer restricciones innecesarias a los desarrolladores. Se adoptó una política de estudio, implementación y monitoreo (Gobierno de Escocia, 2012) para entregar un enfoque de "gestión adaptativa" eficiente basado en el riesgo, que evalúa los potenciales impactos ambientales de la explotación de energía mareomotriz y undimotriz sobre la base de:

- Sensibilidad medioambiental - si el sitio se ubica cerca de, o en un sitio ambientalmente sensible.
- Magnitud de desarrollo - cantidad de dispositivos o capacidad total instalada.
- Clasificación de riesgo de los dispositivos (o tecnología), basada en factores tales como generación de ruido, riesgos de contaminación o colisión, los que pueden diferir dependiendo del concepto.

(Continúa en la siguiente página)

...

Estudio de caso 4 C: Política de estudio, implementación y monitoreo en Escocia

Dicha política nació como "implementación y monitoreo", pero las preocupaciones de asesores ambientales llevaron a que se agregara la disposición del estudio. Ha probado ser costoso y controversial para la comunidad desarrolladora, que considera que al sector se le han impuesto demasiados requisitos de estudios para explotaciones en fase inicial. Existe particular preocupación respecto a los dos años de estudios requeridos para aves y mamíferos, sin existir claros riesgos que fundamenten tal trabajo.

Además, ha existido escasa retroalimentación sobre la experiencia práctica de las operaciones de energía marina en los últimos diez años y el desarrollo de estudios de referencia y requisitos de monitoreo. Lo anterior surge debido a que las compañías desarrolladoras no han cumplido con los monitoreos o no han publicado los resultados de sus observaciones, y también, dado que el Gobierno no ha apoyado los estudios de referencia y monitoreo basados en el riesgo. En cambio, se han destinado recursos para recoger datos estratégicos de mayor amplitud, que no son directamente relevantes para los potenciales impactos específicos de los proyectos de energía mareomotriz y undimotriz.

Por tanto, este enfoque de gestión adaptativa aun no se ha implementado del todo y existe una discusión activa respecto de cómo mejorarlo. Eventuales mejoras podrían incluir:

- Requisitos de monitoreo limitados en todas las implementaciones y publicación de sus resultados.
- Recolección de datos referenciales enfocados en los sitios durante las etapas más activas en el año para la operación.
- Mejor difusión de la información sobre experiencias pasadas.

Puede haber una tendencia a un exceso de control sobre nuevas actividades en las que existe incertidumbre, sobre la base de un enfoque precautorio. Esto presenta dificultades para los nuevos proyectos de energías renovables, ya que formas convencionales de generación de energía a menudo no están sometidas a las mismas restricciones. Es importante que a los proyectos de energía renovable se les exija cumplir con estándares apropiados de control basados en los riesgos reales de estos proyectos (ver 5.4.3). Si se exige a las energías renovables (y a la energía marina en particular) el cumplimiento de estándares más altos que a otras formas de generación de energía, se pondrá en peligro la competitividad de estas fuentes de generación. Las consecuencias de este proceder o la incapacidad de reconocer formalmente los beneficios de los proyectos de energía renovable prolongan la dependencia de formas de generación energética en base al carbón.

Recomendación 4-H: Evaluación de Impacto Ambiental basado en riesgos

Sería beneficioso asegurar que las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) sean formuladas en base a la evaluación de riesgos vinculada a la experiencia internacional de la energía marina. Dado el ritmo de cambio en el sector de la energía marina, se debe considerar una revisión y actualización periódica a la guía de Evaluación de Impacto Ambiental para los proyectos de energía marina, que realizará el **Ministerio de Medio Ambiente**.

El **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares previsto, también, puede apoyar al **Ministerio del Medio Ambiente** en este respecto (ver Capítulo 5 sobre I +D+ i, Sección 0, página 47). Como se muestra en la Tabla 6 y Tabla 7 (páginas 50 y 52), ya se han observado impactos ambientales locales positivos de los proyectos de energía marina.

El **Ministerio de Medio Ambiente**, también, podría considerar la revisión de los resultados de la política de evaluación, construcción y monitoreo de Escocia (Scottish Government, 2012) para estudiar si los aspectos de esta política pueden ser aplicables a Chile (Estudio de caso 4-C, página 24).

Ministerio de Medio Ambiente

En desarrollo

Al igual que los riesgos ambientales locales, los EIA deben considerar los beneficios ambientales y socio-económicos generales de los proyectos de energía marina. Por ejemplo, las principales amenazas para muchas (si no la mayoría) de las especies protegidas están relacionados con los efectos del cambio climático. Proyectos de energía renovable son esenciales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir estos efectos, pero este tipo de impactos positivos a menudo se pasan por alto durante la evaluación del impacto ambiental.

Estudio de caso 4-D: Consideración de los impactos generales de las energías marinas en EIAs en Escocia

Aunque la orientación proporcionada para la realización de evaluaciones de impacto ambiental (EIA) requiere que se tengan en cuenta factores sociales y económicos, se ha producido a menudo un enfoque insuficiente en estas cuestiones y en los procesos de entrega de permisos hasta la fecha. Esto es sorprendente, ya que el impulso principal de apoyo del Gobierno a la energía marina en Escocia es el empleo, y en particular, actividad laboral en zonas remotas y económicamente frágiles. Otra consideración importante que generalmente se pasa por alto, es el efecto positivo de los proyectos de energías renovables en el medio ambiente en general. El enfoque de la evaluación ambiental en Escocia se ha enfocado en gran medida en la protección local de las especies y, en menor medida, de los hábitats.

Recomendación 4-I: Consideración de los impactos generales de proyectos de energías marinas renovables en EIAs

El Ministerio de Medio Ambiente debería considerar el desarrollo de criterios para tomar en cuenta formalmente los impactos generales de los proyectos de energía marina en el proceso de EIA. Esto podría incluir, por ejemplo, los beneficios ambientales (creación de hábitat, la reducción de la contaminación y la mitigación del cambio climático) y las ventajas socioeconómicas que a menudo acompañan a los proyectos de energía marina. (Ver Estudio de caso 8-A, página 142 y Sección 9.4.2, página 150).

Ministerio de Medio Ambiente

Corto Plazo

4.4.2 Simplificación del proceso de otorgamiento de permisos

Tal como ocurre con las concesiones marinas actuales, el hecho de que la energía marina generalmente no figure en la legislación que aborda los permisos, podría significar un riesgo de que las decisiones se adopten a discreción. Sin embargo, el sistema chileno de otorgamiento de permisos es robusto, y es posible que los proyectos de energía marina no enfrenten importantes problemas, pero la falta de certidumbre al respecto constituye otro factor de riesgo para los desarrolladores de proyectos de energía marina. La cantidad de distintos organismos que se debe contactar, también, suma tiempo y costos en los presupuestos de los desarrolladores de proyectos.

Estudio de caso 4-E: Creación de una ventanilla única y simplificación del otorgamiento de licencias marinas en Escocia

Marine Scotland fue establecido en 2009 como un consejo de administración del Gobierno de Escocia, responsable de la gestión integral de los mares de Escocia. En abril de 2011, Marine Scotland estableció una ventanilla única para licenciamiento marino: un punto de contacto único para todos los permisos y las licencias requeridas para proyectos de energía marina. Este enfoque permite simplificar el proceso de licenciamiento a la vez que equipa a las consultas coordinadas con evaluaciones más integrales para los proyectos propuestos. Actualmente, la meta de Marine Scotland es resolver todas las solicitudes de concesiones marinas dentro de nueve meses (de no existir consulta pública local).

La ley marina escocesa (Marine Act) de 2010 introdujo un sistema simplificado de licenciamiento que minimiza la cantidad de licencias requeridas al consolidar varios sistemas y procesos previos, reduciendo así la burocracia y aumentando la eficiencia. Además, se introdujeron procedimientos especiales que permiten otorgar autorizaciones marinas y eléctricas en conjunto para proyectos de energías renovables (Gobierno del Reino Unido, 2010).

El cambio propuesto de pasar la responsabilidad sobre las concesiones marinas desde la SUBSECMAR al Ministerio de Bienes Nacionales, tiene el potencial de simplificar el proceso para asegurar concesiones marítimas (permisos para uso de fondo y superficie de mar). Es importante evaluar cómo en Chile se puede simplificar el proceso de obtener los demás permisos necesarios para completar un proyecto de energía marina.

Recomendación 4-J: Posible optimización del marco regulatorio para proyectos de energía marina

El **Gobierno de Chile** podría examinar los resultados del reciente estudio sobre el marco regulatorio de los proyectos de energía marina (Philippi Abogados, 2012) y la guía de Evaluación de Impacto Ambiental para los proyectos de energía marina a desarrollar por el **Ministerio de Medio Ambiente** para estudiar si podría ser conveniente una racionalización, para reducir al mínimo el número de licencias requeridas y organismos reguladores implicados en la evaluación de los proyectos de energía marina.

Gobierno de Chile

Mediano plazo

4.5 Planificación del espacio marino

La planificación del espacio marino provee un marco estratégico para la toma de decisiones respecto del uso y la protección de bienes y recursos marinos. Puede ser utilizado, tanto para estimular como para controlar el desarrollo, aportar a la optimización de oportunidades de desarrollo económico y social, y ayudar a la gestión y protección de la biodiversidad y el patrimonio cultural. Existen muchos beneficios para una buena planificación estratégica marina:

- Permite una exhaustiva comprensión referencial sobre el entorno marino.
- Aporta a una mayor conciencia de todos los aspectos del entorno marino (ámbitos físico, ecológico, patrimonial, social, económico, de infraestructura y normativo).
- Puede servir de estímulo para estudios e investigaciones más profundas.
- Puede aportar a la identificación de potenciales prioridades para futuros desarrollos y como guía para desarrollo de mecanismos gubernamentales de apoyo.
- Puede aportar a una adecuada gestión y control del patrimonio natural y cultural.

La Comisión Nacional de Uso de Borde Costero (CNUBC) y la Comisión Regional de Uso de Borde Costero (CRUBC) son responsables por la planificación del espacio marino en las distintas regiones de Chile. En la actualidad, el Ministerio de Energía está representado en estas comisiones en condición de observador. El informe sobre el Desarrollo de la Energía Marina en Chile (E&A/UoE, 2012) sugiere que se debe otorgar derecho a voto a los representantes del Ministerio de Energía, lo que conllevaría a incluir la energía marina en los planes de borde costero a nivel nacional y regional.

Recomendación 4-K: Derecho a voto para representante del Ministerio de Energía en las comisiones nacionales y regionales de uso del borde costero

Los representantes del **Ministerio de Energía** para el uso costero a nivel nacional y regional solo tienen condición de observadores en la CRUBC y la CNUBC. Según sugiere el informe Desarrollo de la Energía Marina (2012), sería beneficioso que los representantes del Ministerio de Energía tengan derecho a voto en dichas comisiones.

CNUBC / CRUBC

Corto plazo

Se deben desarrollar planes regionales de uso del borde costero para las 15 regiones de Chile, y es importante que la energía marina sea considerada en este proceso. Los resultados del estudio propuesto sobre costos de energía (Recomendación 5-B, página 46) podrían apoyar en este proceso, pero serían igualmente valioso como herramienta de planificación independiente.

Estudio de caso 4-F: Planificación del espacio marino en Escocia

La ley marina escocesa (Marine Act) de 2010 introdujo un nuevo sistema legal de planificación del espacio marino para una mejor gestión de las demandas en competencia por los recursos marinos.

Se está ensayando la planificación del espacio marino a nivel regional mediante el plan piloto para Pentland Firth y Orkney Waters (PFOW) (Gobierno de Escocia, 2012). Tal como se mencionó en el estudio de caso anterior, en esta área se han otorgado los primeros arriendos a tarifa comercial para proyectos de energía marina en Escocia. El plan piloto busca conciliar las aspiraciones de los distintos usuarios del mar y desarrollar un marco para la toma de decisiones sobre licencias marinas y solicitudes y permisos.

El Atlas Marino de Escocia (Gobierno de Escocia, 2011) es un ejemplo de los amplios beneficios educativos, que pueden surgir de un foco en la planificación del espacio marino. Presenta un excelente nivel de amplitud y detalle en la información y provee fuertes bases para una comprensión universal, sobre la cual se pueden desarrollar discusiones más complejas sobre asuntos clave. A pesar de sus muchas fortalezas, también entrega buenos ejemplos de peligros asociados a la presentación de los datos. A modo de ejemplo, las rutas de navegación recreacional se indican como líneas rectas entre puertos, pero en la práctica veleros y botes motorizados tomarán rutas muy distintas entre dichos puntos dependiendo de las condiciones del mar, puntos de interés marino, etc. Con la expansión del GIS como herramienta de análisis de relaciones espaciales, la generación y el uso de tales datos necesita ser cuidadosamente evaluada. De hecho, al tratar de evitar una actividad que está caracterizada erróneamente en los datos, puede tener un impacto considerable en la realidad

Recomendación 4-L: Identificación y designación de zonas prioritarias para energía marina

Las comisiones nacional y regionales de uso de borde costero (CRUBC y CNUBC) podrían considerar la designación de zonas de desarrollo prioritarias para la energía marina, a través de consultas con la población local y organizaciones. Este trabajo podría ser coordinado con el Ministerio de Energía a nivel nacional como parte de un plan más amplio para la energía marina y un eventual proceso de concesiones.

CRUBC / CNUBC / Ministerio de Energía

Corto plazo

La identificación y designación de las zonas más adecuadas para los proyectos de energía marina es más eficaz cuando se apoya en la recopilación de datos y la investigación ambiental estratégica coordinada. El siguiente estudio de caso presenta algunas iniciativas relevantes del desarrollo de la energía marina a nivel internacional.

El Ministerio de Energía de Chile ha encargado al departamento de geofísica de la Universidad de Chile, con el apoyo del SHOA y DIPRIDA, crear un sitio web para el "explorador de energía marina", que presenta los recursos de las olas y de las mareas de Chile en una plataforma interactiva en línea⁹. Es posible que esta pueda ser la base de una eventual atlas marino en línea. Por otra parte, la información de las agencias existentes, como el Centro de Energías Renovables, el Ministerio de Medio Ambiente y la Armada de Chile, se podría combinar para crear un Atlas marino similar a los desarrollados en Escocia y en otros lugares.

⁹ <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Marino/>

Estudio de caso 4-G: Recolección estratégica de datos e investigación del medio ambiente

Entidades gubernamentales del Reino Unido y Escocia han desarrollado programas de trabajo para informar a la industria, los organismos reguladores y las partes interesadas, sobre las ubicaciones más apropiadas para explotación de energía mareomotriz y undimotriz. Las iniciativas incluyen:

- Reporte de antecedentes, (Marine Scotland y Crown Estate, 2010): luego de la ronda de arriendo de Pentland Firth descrita anteriormente, este informe identifica siete nuevas áreas para la explotación de energía mareomotriz o undimotriz en aguas escocesas. El documento es una guía para planificadores, reguladores y desarrolladores potenciales sobre los recursos, las características físicas y el potencial para la interacción con otros usuarios del mar y el entorno al interior de dichas áreas.
- Guía de ubicación regional: producida por Marine Scotland en respuesta a los comentarios recibidos tras la publicación del reporte de antecedentes (2010), este proyecto incluye un análisis más detallado de las áreas propuestas y entrega información localizada sobre factores ambientales, técnicos y socioeconómicos.
<http://www.scotland.gov.uk/Topics/marine/marineenergy/wave/rlg>
- Atlas marítimo de Escocia: una evaluación de las condiciones de los mares de Escocia para determinar la elección de sitios, el diseño de proyectos, la evaluación ambiental, etc. Ver Estudio de caso 4-F y siguiente enlace.
<http://www.scotland.gov.uk/Publications/2011/03/16182005/0>
- Marine Scotland Interactive (MSI): es una herramienta interactiva diseñada para asistir el desarrollo del Plan Marino Nacional. La herramienta permite a sus usuarios visualizar distintas capas de información y, en ciertos lugares, existen enlaces a las partes correspondientes en el Atlas marítimo de Escocia, donde la información se encuentra en mayor detalle.
<http://www.scotland.gov.uk/Topics/marine/education/atlas>
- Marine Scotland encargó una revisión de los potenciales impactos de explotaciones de energías renovables mareomotriz y undimotriz en los mares de Escocia. Ver <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/295194/0121070.pdf>
- En Escocia se llevó a cabo una evaluación ambiental estratégica (EAE) para energías renovables marinas con el fin de examinar los efectos ambientales de explotar el potencial de la energía renovable escocesa. Los resultados de dicha evaluación aportaron datos para la preparación y entrega de la estrategia del Gobierno de Escocia para la explotación de la energía marina y las directrices para desarrolladores de energía marina. Ver <http://www.scotland.gov.uk/Topics/marine/marineenergy/wave/WaveTidalSEA>

Se han desarrollado una cantidad importante de bases de datos que contienen información sobre investigaciones continuas, en las que se incluye:

- Programa sobre intercambio de conocimiento sobre energías renovables marinas NERC (MREKEP) (<https://ke.services.nerc.ac.uk/Marine/Pages/Home.aspx>)
- Red de conocimiento mareomotriz y undimotriz del Crown Estate (<http://www.waveandtidalknowledgenetwork.com/>)
- Sistema de manejo de conocimiento TETHYS (http://mhk.pnl.gov/wiki/index.php/Tethys_Home)

Recomendación 4-M: Evaluación Ambiental Estratégica (SEA)

El **Ministerio del Medio Ambiente** (posiblemente con el apoyo del Ministerio de Energía y el CER) podría encargar una Evaluación ambiental estratégica (SEA) para la energía marina en Chile. Los objetivos de este informe serían:

- Evaluar el impacto ambiental de proyectos de energía marina a gran escala a nivel nacional.
- Priorizar los riesgos ambientales de los proyectos de energía marina en Chile.
- Apoyar la identificación de zonas de explotación prioritarias y una eventual ronda de arriendos a tarifas comerciales.

Esta evaluación debiera considerar los impactos de la explotación de energía marina a escala industrial, e identificaría las áreas en donde se pueden realizar proyectos con un riesgo medioambiental mínimo. El impacto medioambiental puede reducirse no solo por la elección del sitio, sino también, por la elección de la tecnología, el calendario de la obra en construcción, la selección de infraestructura de apoyo, etc.

Una Evaluación ambiental estratégica (SEA) puede examinar escenarios de desarrollo alternativos plausibles, que incluyan la implementación desde su fase inicial, con el fin de que se puedan llevar a cabo comparaciones significativas entre los impactos de las actividades existentes y las potenciales implementaciones de energía marina. Los Gobiernos Regionales, también, podrían considerar la puesta en marcha de sus propias evaluaciones ambientales estratégicas regionales.

Nota: los resultados de este trabajo y el estudio de costos de energía propuestos podrían apoyar a las CNUBC/CRUBC y al Ministerio de Energía en la identificación y designación de zonas de explotación prioritarias para la energía marina. (Ver Recomendación 4-L y Recomendación 4-E).

Ministerio del Medio Ambiente/Gobiernos de Energía

Corto plazo

Recomendación 4-N: Creación de un atlas y un plan marino nacional para Chile

El **Gobierno** de Chile debería considerar el desarrollo de un atlas marino nacional para Chile, que proporcione información, mapas y análisis sobre los niveles actuales y futuros de actividad en el medio ambiente marino chileno. Los planes de uso del borde costero regional que se encuentra actualmente en desarrollo, podría formar parte de este proyecto, documento que podría estar relacionado con información ya existente, por ejemplo:

- Las Comisiones Nacional y Regionales de Uso de Borde Costero (CNUBC/ CRUBC)
- El Ministerio de Energía y el Centro de Energías Renovables, por ejemplo, redes eléctricas, plantas de energía, etc.
- La Escuela Naval de Chile (DIRECTEMAR/SHOA/DIPRADA), por ejemplo, concesiones marítimas, estudios de batimetría y recursos undimotriz y mareomotriz..
- El Ministerio de Bienes Nacionales, por ejemplo, terratenencia, concesiones marítimas y de borde costero.
- El Ministerio del Medio Ambiente, por ejemplo, áreas protegidas y evaluación de riesgo medio ambiental.
- El estudio de la infraestructura de energía marina planificado por el Ministerio de Energía
- El sitio web "explorador de energía marina" (Universidad de Chile, 2012)

El recurso medible de energía marina y los datos de batimetría del fondo de mar (Recomendación 5-A, página 44) y la Evaluación Estratégica Medio Ambiental (SEA) propuesta en este informe, (Recomendación 4-M, página 30), también, podría apoyar el atlas marino en consulta con los diversos departamentos públicos.

La creación del atlas se convertiría en una herramienta valiosa para la planificación marina y para el compromiso laboral de las partes interesadas.

Gobierno de Chile

Corto a mediano plazo

4.6 Salud y seguridad

La seguridad en el mar ha estado presente a través de siglos de actividades y experiencias marítimas. Se han desarrollado nuevos reglamentos y procedimientos de gestión de seguridad para industrias específicas, tales como el sector petrolero y gasífero o para terminales de contenedores. La instalación y operación de tecnologías mareomotrices y undimotrices presentan nuevos y, a veces, grandes desafíos en términos de salud y seguridad, que deben ser abordados.

Mantener una estación fija (manteniendo la posición) en una corriente de mareas es una tarea difícil. Las fuerzas que actúan sobre navíos y equipos son intensas, y un elemento o una persona que cae al mar y flota a la deriva puede alcanzar velocidades peligrosamente altas.

A lo largo de las costas oceánicas expuestas, las olas pueden afectar la estabilidad de las plataformas de trabajo y crear fuerzas excesivas sobre las estructuras. Para proyectos de energía undimotriz, los navíos deberían trabajar en aguas menos profundas que lo normal, quedando más expuestos a olas que normalmente se evitarían, y aquellos que sufran desperfectos pueden tener muy poco espacio para derivar hacia la orilla antes que encallen. En resumen, la naturaleza de alta energía de los sitios de energía undimotriz y mareomotriz, los hace lugares difíciles de llevar a cabo faenas laborales en forma segura.

A pesar de estos riesgos adicionales asociados a la energía marina, existen pocos o nulos ejemplos donde se haya establecido disposiciones reguladoras específicas. La experiencia recogida a la fecha ha demostrado que se manifiestan numerosos accidentes y negligencias en el sector de la energía marina. Aún no se realizan las gestiones de riesgos ni se aplican las medidas de control con el rigor y entendimiento suficiente para que el sector exhiba la seguridad correspondiente.

En Chile, el Ministerio del Trabajo y Previsión Social es responsable de "promover conductas que prevengan accidentes y enfermedades laborales en el puesto de trabajo" (Gobierno de Chile, 2010). La Dirección del Trabajo es la subdivisión del ministerio que se ocupa de supervisar el cumplimiento de las leyes laborales, así como la salud y seguridad en el trabajo.

DIRECTEMAR opera los servicios de guardacostas en Chile y es responsable de supervisar el cumplimiento de todas las leyes nacionales sobre salud y seguridad en los puertos y el mar.

Recomendación 4-O: Creación de un grupo de salud laboral y seguridad para el sector de la energía marina

La **Dirección del Trabajo** (parte del Ministerio del Trabajo y Previsión Social) podría establecer un grupo de trabajo con la finalidad de crear un marco de gestión y control del riesgo apropiado para el sector de energía marina en Chile, en una posible coordinación con el Ministerio de Energía y el CER. Tal grupo de trabajo podría incluir profesionales, aseguradoras, desarrolladores y servicios de emergencia, asimismo, podría transferir a Chile conocimientos, experiencias y lecciones aprendidas en los sectores de energía marina en otros países. Este grupo, también, podría crear un dossier sobre seguridad marítima en Chile para que los desarrolladores de proyectos de energía marina planifiquen sus operaciones en aguas chilenas.

Ministerio del Trabajo y Previsión Social

Corto plazo

4.7 Conclusiones – Marco Regulatorio

Es fundamental para el progreso de la industria de energía marina que todas las medidas normativas sean desarrolladas en forma paralela; es improbable que un conjunto de medidas normativas parciales o descoordinadas entreguen el impulso político e industrial necesario para avanzar en el desarrollo de una industria de energía marina exitosa.

A modo de ejemplo, un sistema bien estructurado de autorizaciones y licencias, no asegura el desarrollo de la industria de energía marina al no existir acceso directo a la infraestructura de la red eléctrica. Asimismo, el acceso a la red eléctrica y un adecuado sistema de autorizaciones, no es suficiente para asegurar el éxito de una estrategia de desarrollo, si no existe el apoyo financiero para proyectos precomerciales.

Estudio de caso 4-H: Estrategia de energía marina en Escocia

Un informe publicado en 2004 por Marine Energy Group (MEG) del Foro Escocés para el Desarrollo de la Energía Renovable (FREDS) afirmó que en 2020, 10 % de la electricidad de Escocia podría provenir de fuentes de energía renovable marina, y destacó la oportunidad para instalar una capacidad de energía marina de 1.300 MW en aguas escocesas, creando 7.000 puestos de trabajo y la posibilidad de transformar a las compañías escocesas de energía marina en proveedores mundiales en los mercados internacionales de exportación de energía (FREDS/MEG, 2004). Este documento moldeó las bases de la estrategia de desarrollo para la energía marina del Gobierno de Escocia. Desde entonces, MEG ha elaborado una hoja de ruta (FREDS/MEG, 2009) y un plan de acción (FREDS/MEG, 2012) para luego monitorear el progreso respecto de dichas ambiciones y actualizar las recomendaciones específicas.

El MEG fue un grupo invitado para la ocasión y el Gobierno de Escocia lo ha conformado en tres ocasiones ya. Cada grupo ha sido diseñado para enfrentar de la mejor forma los desafíos de la época tal como fueron entendidos. En su etapa temprana, el grupo lo constituía desarrolladores de tecnologías y académicos; hoy necesita de una base representativa más amplia, dado que el tema es más complejo y se ha incorporado a toda la cadena de suministro, el gobierno y la sociedad en su conjunto. El grupo además tiene fuertes lazos con Scottish Renewables (SR), una entidad comercial que cuenta con una membresía de amplia representación pública, académica y comercial. Tanto MEG como SR han buscado analizar el contexto general y entregar a todas las partes involucradas soluciones generales y prácticas a la vez. El establecimiento de un grupo de asesores especialistas con quién el Gobierno pueda explorar opciones informalmente, ha funcionado bien.

Basado parcialmente en la base de los hallazgos de la investigación de MEG, el Gobierno de Escocia apoya a las fuentes de energía renovable marina para contribuir significativamente en alcanzar la meta de Escocia de generar el 100 % de la electricidad del país con fuentes renovables para el 2020.

El hecho de que el Ministerio de Energía esté a pasos de establecer una estrategia de desarrollo para la energía marina es una evolución extremadamente favorable, así como es el plan del Ministerio de Energía para fomentar una coordinación interministerial sobre energía marina, ya que existen muchas políticas donde será necesaria la acción coordinada de los distintos ministerios del Gobierno para apoyar la industria de energía marina con éxito.

En tanto, es necesario que el Ministerio de Energía defina en su estrategia una serie de actividades cuya ejecución es responsabilidad de dicha cartera. Estas pueden incluir la identificación de barreras para el desarrollo de la energía marina y el establecimiento de grupos de trabajo con otros ministerios para enfrentar estas mismas barreras (por ejemplo, concesiones marítimas con el Ministerio de Defensa y el Ministerio de Bienes Nacionales), pero los cambios necesarios deben ser implementados por el ministerio responsable. Asimismo, se desprenden beneficios de la energía marina en términos de creación de empleos e inversiones que son centrales para la energía marina, pero que en el papel aparentan ser de mayor interés para el Ministerio de Economía que para su símil de Energía.

Puede ser beneficioso conformar un grupo independiente con la responsabilidad de monitorear el progreso del desarrollo de la energía marina y mantener actualizadas las recomendaciones estratégicas. Un grupo como tal, podría estar conformado por expertos y representantes de distintas entidades gubernamentales y no gubernamentales (incluyendo la industria y las universidades), similar al grupo de energía marina de Escocia. Sea que tal grupo esté impulsado por el Gobierno central o respaldado por las organizaciones adecuadas, un cuerpo de tales características podría tener la facultad de entregar recomendaciones independientes e influenciar las políticas de un modo que sería más difícil de lograr desde el propio Gobierno.

Mientras que el Gobierno de Chile establece y hace cumplir las metas para el suministro global de energía renovable, por lo general, se abstiene de establecer objetivos específicos para cada uno de los tipos de energía renovable, tales como la energía undimotriz o mareomotriz. La identificación de objetivos alcanzables puede ayudar a impulsar el sector, sin embargo, un grupo de estrategia de energía marina independiente podría estar en el lugar adecuado para proponer tales objetivos (aunque solo fueran aspiraciones) como parte de sus recomendaciones.

Recomendación 4-P: Desarrollo de una estrategia de energía marina robusta; nombramiento de un equipo directivo para revisión, asesoría y publicación de avances

Cualquier estrategia en el área dinámica de la política energética será válida por un tiempo limitado. Por lo tanto, es necesario revisar y actualizar la estrategia de energía marina de Chile en forma regular, para incluir la información más actualizada y aprovechar trabajos hechos con anterioridad, como este mismo plan de acción. Puede ser útil identificar las organizaciones responsables y los plazos de ejecución de acciones específicas a ser realizadas. El **Gobierno de Chile** y, en particular, el **Ministerio de Energía** podrían considerar la formación de un **grupo consultivo de estrategia independiente** con la responsabilidad de esta tarea.

Ministerio de Energía / Grupo consultivo de estrategia independiente

En desarrollo

Recomendación 4-Q: Creación de un sub comité para la energía marina con las comisiones parlamentarias de energía

Puede ser conveniente establecer subcomités de energía marina dentro de las comisiones parlamentarias de energía del **Gobierno de Chile** (Senado y cámara de Diputados).

Gobierno de Chile

Corto plazo

Recomendación 4-R: Registro de proyectos y tecnologías de energías marinas

El **Ministerio de Energía** ya posee un registro de las organizaciones que trabajan en la energía marina en Chile, y el proyecto de estrategia de energía marina incluye información sobre muchos de los dispositivos de energía marina en desarrollo a nivel internacional y nacional. Sería útil continuar la actualización de este registro con información y datos sobre las actividades de tecnología y de proyectos de energía marina. Esta iniciativa, también, podría incluir ciertas tecnologías e infraestructura como las que fueron identificadas en el estudio previsto de infraestructura (por ejemplo, buques de instalación o astilleros). Tanto el **CER** como el futuro **Centro de Excelencia en Energía de los Mares**, también, podrían apoyar este proyecto.

Ministerio de Energía / CER / Centro de Excelencia

Corto plazo

5 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

5.1 Introducción

El segundo pilar de la estrategia de energía marina del Ministerio de Energía dice relación con la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i). Sin duda, la I+D+i es la espina dorsal de toda industria emergente y constituye un factor esencial, que permite avanzar desde las etapas iniciales de las nuevas tecnologías a la realización de un sector industrial económicamente viable a una escala comercial.

Históricamente en Chile, el crecimiento económico ha sido impulsado por la exportación de recursos naturales (especialmente los recursos mineros y agropecuarios). Según la OCDE, Chile ostenta “un nivel relativamente bajo de inversiones en investigación y desarrollo, el énfasis excesivo en investigación es comparado a la innovación en el sistema de financiamiento”, y además, muestra “deficiencias en la formación de capital humano” (OCDE, 2009). Sin embargo, en años recientes, el Gobierno de Chile ha dado pasos importantes en este sentido, destacándose los siguientes:

- La creación del Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC), que asesora al Gobierno en relación con las políticas de innovación y evalúa a los organismos tales como CORFO en materia de innovación.
- La introducción de un impuesto específico (royalty) a la minería, que financia proyectos estratégicos de investigación, desarrollo e innovación.
- La introducción de un crédito fiscal a la inversión en I+D+i (recientemente ampliado) para fomentar la participación del sector privado en este tipo de proyectos.

En relación a la energía marina, el acontecimiento reciente más significativo ha sido el anuncio de que Innova-CORFO y el Ministerio de Energía llamarán a licitación para la creación de un Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares por USD 20 millones, de los cuales USD 13 millones corresponden a fondos para subvenciones por un período de 8 años. Por medio de la creación de este Centro de Excelencia, el Gobierno de Chile pretende consolidar las capacidades existentes en investigación, atraer a grupos internacionales que cuenten con experiencia y conocimientos relevantes, y promover la creación de redes colaborativas que ofrezcan servicios y productos enfocados directamente en las necesidades industriales locales.

En segundo lugar, el Gobierno de Chile y el Banco Interamericano de Desarrollo han decidido dar financiamiento a los primeros proyectos pilotos a gran escala de energía marina en aguas chilenas. Se estima que los fondos totales que se destinarán a este fin alcanzan aproximadamente a USD 14 millones, aunque aún está por determinarse qué proporción de los fondos será destinada a la energía undimotriz y a la energía mareomotriz. También, existen varias líneas de financiamiento disponibles para proyectos de I+D+i que no son exclusivos para la energía marina (ver Figura 41, página 91).

5.2 Actividades en curso

Chile tiene algunas de las universidades y centros de investigación más importantes de Latinoamérica. Muchas de estas instituciones ya realizan investigación en energía marina y, en muchos casos, en colaboración con el sector privado. A continuación se presentan algunos ejemplos:

- Proyecto actualmente en curso, liderado por HydroChile, que evalúa los recursos potenciales existentes en Chile para la generación de energía undimotriz y mareomotriz, y que incluye un estudio ambiental del Canal de Chacao.
- Actividades de la Escuela de Ingeniería Naval de la Universidad Austral, relacionadas con turbinas mareomotrices de bajo caudal, para uso en granjas salmoneras.
- El Departamento de Oceanografía (DOCE) de la Universidad de Concepción actualmente hace investigación del uso de radares de alta frecuencia para la medición de las corrientes de marea o de oleaje.
- Proyecto de la Universidad Técnica Federico Santa María que estudia el desempeño de la turbina de rebosadero de la empresa Wave Dragon, entre otros trabajos acerca de la electrónica de potencia y modelamiento de potencia, que incluye el diseño de convertidores para generadores de energía marina a base de generadores de imanes permanentes.
- Proyecto de sitio web “Explorador de Energía Marina” que mapea los recursos de energía undimotriz y mareomotriz, liderado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile conjuntamente con SHOA y DIPRI¹⁰.
- Proyecto de investigación sobre consideraciones medioambientales de la energía marina, de la Universidad de Magallanes y el Centro de Estudios del Cuaternario, Fuego-Patagonia y Antártica (CEQUA).

Existen varias empresas privadas que están desarrollando las primeras etapas de conceptos tecnológicos para la generación de energía undimotriz y mareomotriz, incluyendo:

- Ausind –realizó pruebas a su propio modelo a escala de absorbedor puntual de energía undimotriz, instalado en el mar cerca de Valparaíso.
- Blue Power Projects - realizó pruebas conceptuales de prototipo undimotriz en el Quisco
- ETYMOL – ha realizado pruebas controladas de un prototipo a escala de su dispositivo de energía undimotriz.
- Maestranza Diesel – ha realizado pruebas (a pequeña escala) de varios prototipos de dispositivos que aprovechan la energía undimotriz y mareomotriz, incluyendo una prueba realizada en el Canal de Chacao.
- Undimotriz Chile – está en desarrollo de un nuevo concepto de energía undimotriz.
- Wilefko – recientemente realizó pruebas a un prototipo a pequeña escala de su aleta captadora de energía undimotriz en Concón.

Estas nuevas tecnologías están atrayendo el interés de organizaciones públicas y de grandes empresas industriales, incluyendo Abengoa, Andritz Hydro Hammerfest, DCNS, Endesa, Siemens, Voith, etc. Otros miembros de la cadena de abastecimiento, también, están interesados (Baird, Birchman, Green Elements, Hatch [antiguamente Proconsa]). Por último, existe una serie de organizaciones internacionales de investigación y comerciales que han comenzado a desarrollar

¹⁰ <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Marino/>

vínculos con Chile, y se han involucrado directamente en el emergente sector de la energía marina del país (Aquatera, WAVEC, NNMREC, Edinburgh University, Heriot Watt University y otras).

Algunas personas que fueron entrevistadas en el marco de este informe, expresaron cierta preocupación por la falta de coordinación entre las universidades y las empresas privadas en Chile, ya que podrían verse intimidadas por el nivel de riesgo y resistirse a invertir su propio capital en I+D+i externos. El papel de la industria para ayudar a definir las líneas de investigación de las universidades, puede potenciarse con el fin de permitir una coordinación de las necesidades de las empresas con los objetivos nacionales de I+D+i. Se está avanzando en este sentido con una serie de nuevas iniciativas por parte de CORFO (ver Figura 41) y especialmente de Innova-CORFO. El ejemplo más evidente es el anuncio de un Centro de Excelencia en Energía de los Mares, cuya finalidad es acortar la brecha entre el mundo académico y el sector privado en este ámbito.

El Ministerio de Energía ha dejado claro que la I+D+i constituye un componente esencial de la estrategia chilena de desarrollo a largo plazo, con un papel clave que desempeñar en el fomento del crecimiento de la industria de la energía marina, incluyendo la investigación básica y aplicada, la innovación, el desarrollo de servicios, y la capacitación laboral.

5.3 Prioridades de financiamiento

Los montos y la estructura del financiamiento para proyectos de I+D+i en energía marina deben ser considerados detenidamente. A nivel internacional, la tendencia ha sido que el financiamiento sea dirigido casi exclusivamente a apoyar a los inventores de tecnologías primarias y a empresas secundarias que desarrollan las tecnologías luego de adquirir los derechos de propiedad industrial (patentes) de los inventores.

En el Reino Unido y muchos otros países, las empresas de tecnología generalmente deben hacerse responsables de una amplia gama de actividades que no están directamente relacionadas con sus estrategias empresariales fundamentales, como por ejemplo, selección y evaluación de sitios, estructuración de conexiones a la red eléctrica y desarrollo de apoyo político. Las distracciones causadas por tales actividades se ven exacerbadas aún más por el pequeño tamaño de las empresas de desarrolladores tecnológicos, los que pueden tener dificultades para mantener el enfoque en el desarrollo de tecnología.

En muchas industrias es cada vez más común, que hasta la fabricación básica o el montaje de sistemas sea tercerizada, lo que permite que las empresas de tecnología puedan concentrarse principalmente en el diseño y desarrollo de tecnología con su correspondiente Propiedad Intelectual (PI) asociada. Es de esperar que en el futuro, las empresas de desarrollo de proyectos especializados y de operaciones marinas se encuentren establecidas, de manera que las responsabilidades relacionadas con la entrega de energía marina sean ampliamente compartidas. Esto, también, puede afectar a alguna de las fuentes de financiamiento, con más fondos direccionados a actividades no relacionadas con la tecnología, lo cual estimula de mejor manera los mercados finales de dispositivos en los puntos de precio correctos en esos mercados. Esto puede conducir a un desarrollo en este sector, facilitando así, los fondos dirigidos a áreas de investigación o de desarrollo de capacidades que apoyan el crecimiento de la industria.

Estudio de caso 5-A: Sector de fondos facilitadores en Oregón, USA

El estado de Oregón tiene, quizás, la base de financiamiento más amplia y diversificada para la energía marina. Los fondos han permitido el apoyo en estudios y en la industria, además del apoyo directo al desarrollo de tecnologías. Llama la atención que la mayor parte de los miembros del Oregon Wave Energy Trust (OWET) son proveedores de servicios de la cadena de abastecimiento, y esta circunstancia puede haber influenciado las prioridades de financiamiento. Este énfasis en el desarrollo de capacidades y en ciertas áreas de investigación tiene sentido, ya que en EEUU no existe una tarifa de apoyo, y que los precios de energía son bajos, la justificación económica para el desarrollo de tecnología es menos fuerte que en otras partes del mundo. Asimismo, podría decirse que Oregón ha tenido más éxito en identificar muchas de las barreras y oportunidades estratégicas del sector de la energía undimotriz, antes de pasar al desarrollo a gran escala a diferencia de otras áreas geográficas.

Estudio de caso 5-B: Sector de fondos facilitadores en Escocia, Reino Unido

El Crown Estate (bienes raíces de la Corona), también, ha provisto fondos facilitadores en la zona de Pentland Firth Orkney Waters (PFOW), separando parte del ingreso generado por las multas de arriendo e incluyendo financiamiento adicional del Crown State, el Gobierno de Escocia y ciertos cuerpos gubernamentales. Se ha invertido una cantidad sustancial de dinero, pero el enfoque de los estudios ha perdido con frecuencia las prioridades clave, que podrían haber beneficiado proyectos específicos o el sector en general. En algunos casos, se tomaron decisiones para apoyar estudios sin tener en cuenta el conocimiento o la experiencia local o el aporte de la cadena de suministro más amplia. En consecuencia, preguntas claves y relativamente simples quedan sin responder, mientras que existe una cantidad considerable de información recopilada y de un costo alto, que puede llegar a tener un escaso valor para las futuras energías marinas. Por lo tanto, una base adecuada de conocimiento, experiencia y comprensión deben constituirse como los aspectos primordiales al asignar programas de financiamiento estratégicos, si se quieren obtener los mejores resultados.

La Unión Europea, también, ha proporcionado diversos mecanismos de financiamiento para apoyar el desarrollo de la industria de la energía marina. Algunos de estos ejemplos se muestran como referencia en el Estudio de caso 5-C, Tabla 4: Financiamiento para la investigación de la energía marina de la Unión Europea UE: También, se puede observar que en conjunto con los estudios enfocados en tecnología, existe un significativo número de proyectos dirigidos al desarrollo de capacidades y a la gestión de la industria en términos generales. Ver Recomendación 5-I sobre coordinación de investigación, página 63.

Estudio de caso 5-C: Financiamiento para la investigación de la energía marina en la Unión Europea

La tabla a continuación proporciona referencias de relevancia de algunas iniciativas de financiamiento de la Unión Europea:

Tabla 4: Financiamiento para la investigación de la energía marina de la Unión Europea UE:

Proyecto	Comienzo	Término	Presupuesto (del UE)	Descripción/objetivo
Acción coordinada en energía oceánica (CA-OE)	2004	2007	€ 150,000	Coordinar el desarrollo de investigación y políticas dentro de áreas específicas de la investigación y desarrollo de la energía oceánica; marketing de productos de investigación, revisión e implementación de estándares relacionados con monitoreo y diseño.
Diseminación EU-OEA	2004	-	€ 1,593,000	Diseminar información sobre investigación e implementación y sus diversas actividades.
POWWOW	2005	2008	€ 1,049,646	Coordinar las actividades en campos relacionados con el pronóstico de la energía eólica de corto plazo, predicciones de recursos undimotrices mar adentro y eólicos y de estelas en los parques eólicos marinos. Diseminar información y planificaciones a futuro.
SEEWEC	2005	2008	€ 2,299,755	Asistir en el desarrollo de convertidores de energía undimotriz FO ³ de segunda generación a través de una extensiva experimentación en monitoreo de una plataforma o dispositivo de laboratorio 1:3 y un prototipo 1:1 de primera generación.
WAVE DRAGON MW	2006	2009	€ 2,431,000	Desarrollar la tecnología Wave Dragon desde un prototipo de acero de 20 kW a una unidad de 7 MW de tamaño estándar con una posterior validación de viabilidad tecno-económica.
EquiMar	2007	2013	€ 3,990,024	Desarrollar protocolos para la evaluación equitativa de convertidores de energía marina.
NEREIDA MOWC	2007	2010	€ 831,555	Demostrar la incorporación de la tecnología de turbinas Wells OWC en una escollera rompeolas en Mutriku, costa norte de España.
WAVEPLAM	2007	-	€ 526,988	Desarrollar condiciones (herramientas, métodos y estándares) para acelerar la introducción de la energía oceánica en el mercado europeo de las energías renovables.
CORES	2008	2011	€ 3,449,587	Desarrollar conceptos y componentes para la toma de fuerza, control, amarres, plataformas, adquisición de datos e instrumentación en los sistemas flotantes OWC.
Pulse Stream 1200	2009	-	€ 8,008,935	Producir un demostrador de un prototipo de pre-producción 1.2 MW de una innovadora tecnología de energía mareomotriz.
Standpoint	2009	-	€ 5,096,653	Estandarizar un absorbedor puntual de energía undimotriz por demostración.
Surge	2009	-	€ 2,997,000	Proyecto para crear un convertidor de energía undimotriz conectado a la red eléctrica.
ORECCA	2010	2011	€ 1,599,032	Crear un sistema para el conocimiento compartido y desarrollar un plan de acción de investigación para actividades en el contexto de energía renovable marina.
MARINA PLATFORM	2010	2014	€ 8,708,660	Proyecto Pan-Europeo dedicado a las aplicaciones de energía renovable marinas cercanas al ingreso al mercado, que crea infraestructuras para convertidores de parques eólicos marinos y de energía oceánica.
SOWFIA	2010	2013	€ 1,442,345	Proporcionar recomendaciones para la reestructuración de los procesos de aprobación y los procesos de evaluación de impacto europeos.
Waveport	2010	-	€ 4,591,850	Demostrar e implementar un convertidor de energía undimotriz de escala comercial.
Fame	2010	2013	€ 3,400,000	Proyecto estratégico transnacional en cooperación para posibilitar la protección del medio ambiente marino Atlántico.
MARINET	2011	2015	€ 8,999,997	Acceso gratis a la investigación y a instalaciones de investigación de primera categoría.

5.4 Áreas específicas de investigación

Entre las líneas potenciales de investigación que podrían ser priorizadas en Chile, las siguientes han sido mencionadas por el Ministerio de Energía:

- Reducción del costo de las tecnologías y su adaptación a las condiciones chilenas
- Evaluación de los recursos de energía marina en sitios específicos y evaluación de los impactos ambientales
- Desarrollo de sistemas para comunidades aisladas
- Sinergias con otros sectores, por ejemplo, la minería y la acuicultura (nichos de mercado)

Estas y otros potenciales proyectos de áreas de enfoque I+D+i se analizan en detalle a continuación.

5.4.1 Reducción del costo de las tecnologías y su adaptación a las condiciones chilenas

Uno de los objetivos del Gobierno de Chile apunta a que el país emprenda actividades de I+D+i para reducir los costos de la energía marina, de modo que la energía undimotriz y mareomotriz llegue a ser competitiva con otros tipos de energías renovables no convencionales en el mercado chileno. Esto puede incluir el desarrollo y adaptación de tecnologías ya existentes en el extranjero, además del desarrollo de nuevas tecnologías en Chile.

Tal como se indica en el Capítulo 7 sobre Financiamiento de este informe, la dinámica de la relación entre el costo de la energía y los valores de mercado puede ser compleja y variable. Es posible que ya haya ciertos mercados en Chile, en los cuales la energía undimotriz, y más especialmente la energía mareomotriz, pueda competir en términos de costos con los sistemas tradicionales de suministro de energía. Sin embargo, más allá del costo básico, también, deberán ser considerados los factores de variabilidad de suministro, la confiabilidad, y la aceptabilidad de esta energía.

Para los mercados de energía a gran escala, no hay duda que la certeza de los costos, así como la minimización de los mismos son factores determinantes, y también, queda claro que una adecuada adaptación de las tecnologías a la fabricación nacional y condiciones locales jugará un papel importante en la reducción de costos. Dado que Chile es un importante productor de cobre y en menor grado de acero, puede ser atractivo para la industria chilena fabricar cableado submarino y dispositivos dirigido al mercado latinoamericano.

Por consiguiente, dichos aspectos están ampliamente considerados en la Estrategia y en este informe, sin embargo, sigue siendo un desafío definir, en consulta con organizaciones de I+D+i nacionales e internacionales, además de la industria, cuáles son las áreas de investigación que más pueden aportar a la consecución de dicho objetivo (ver Recomendación 5-I, página 63).

En la Tabla 5 se indican las características clave de los sitios marinos chilenos con potencial energético, así como su impacto.

Tabla 5: Principales características de los sitios con potencial para la energía marina en Chile

Característica	Sitios con potencial undimotriz	Sitios con potencial mareomotriz
Recurso energético	Alto nivel de energía y consistencia = alto factor de planta. Niveles de energía suficientes para la generación eléctrica a lo largo de toda la costa, pero más altos en el sur.	Comparables a otros sitios a nivel mundial.
Profundidad del lecho marino (batimetría)	Profundos, cercanos a la costa y con pendientes pronunciadas – altos niveles de energía cerca de la costa, pero el ancho de la banda de fondo marino utilizable es limitado. Será necesario diseñar nuevos tipos de cimientos y sistemas de amarre.	Un poco más profundos que otros sitios a nivel global.
Condiciones operativas	Oleaje grande, regular, y de largo período – el diseño deberá considerar aspectos de fatiga de materiales y condiciones extremas de carga. Las operaciones de instalación y mantención podrían ser complejas.	Debido a flujos de marea típicos, pero con menor energía del oleaje y presencia de objetos flotantes (troncos, hielo), el diseño y las operaciones de instalación y mantención son más sencillos.
Distancia al puerto más cercano	Existen muchos puertos adecuados. Sin embargo, es tan grande la extensión marítima con potencial energético, que muchos sitios estarían lejos de los puertos (>24hrs @ 4 nudos).	La mayoría de los sitios importantes están a unas pocas horas de un puerto.
Otros usuarios del mar	Se presenta gran actividad cerca de los puertos; existe un gran número de caletas de pescadores.	Alto tráfico naviero en Canal de Chacao y Magallanes.
Medio ambiente	Se encuentran especies de importancia global. Áreas indígenas protegidas.	Se encuentran especies de importancia global.
Otros	Riesgo sísmico y de tsunamis (bajo en el extremo sur de Chile).	Riesgo sísmico y de tsunamis (bajo en el extremo sur de Chile).

Estos factores implican la necesidad de adaptar las tecnologías existentes, desarrollar nuevos diseños, e implementar nuevas modalidades y procedimientos de operación.

Estudio de caso 5-D: Reducción de costos en la energía marina en el Reino Unido

El Informe de Energía Marina Futura (Future Marine Energy Report, Carbon Trust, 2006) indica que las siguientes áreas ofrecen el mayor potencial para la reducción de costos de la energía marina:

- Componentes de dispositivos– Investigación orientada a la reducción de costos y la mejoría de la eficiencia de componentes específicos de dispositivos existentes de energía marina.
- Instalación, operación y mantenimiento – Desarrollo de estrategias para reducir los costos de instalación, operación y mantenimiento de dispositivos de energía marina.
- Conceptos de última generación – Desarrollo de nuevos conceptos de dispositivos que reduzcan significativamente los costos de la energía marina, en comparación con otras fuentes energéticas.

Posteriormente fue inaugurado el programa UK Marine Energy Accelerator (MEA) con una inversión de GBP 3.5 millones, cuyo objetivo era explorar la reducción de costos en energía marina (Carbon Trust, 2011). El proyecto se enfoca en los tres ámbitos antes mencionados, y describe el potencial de reducción de costos del siguiente modo:

“La energía generada por los convertidores de energía undimotriz y mareomotriz se volverá más accesible a medida que aumente la cantidad de aparatos y dispositivos fabricados –el “aprendizaje por medio de la práctica”. En términos de los aparatos de generación eléctrica, ello significa que el costo de la energía marina (en \$/kWh) debe disminuir en un determinado porcentaje por cada duplicación de la potencia generada anualmente (en kWh/año). Esto puede ser graficado mediante una ‘curva de experiencia o de aprendizaje’. La innovación tecnológica puede acelerar la velocidad del proceso de reducción de costos –es decir, la curva de aprendizaje será más inclinada, o comenzará desde niveles más bajos”.

El informe indica cómo se puede disminuir el costo de la energía generada por los dispositivos de energía marina mediante dos vías distintas pero que se superponen:

- *“A partir de la reducción en los seis componentes de costos identificados como partes constitutivas del costo de la energía (Figura 23), lo que reduce la inversión de capital o los gastos en operación y mantenimiento por cada kWh de potencia generada;*
- *A partir de las mejoras en la eficiencia de los dispositivos, lo que aumenta la cantidad de kWh por unidad de capital invertido y de costo operacional. Las mejoras de la eficiencia aumentan la cantidad de potencia generada por el dispositivo durante su tiempo de funcionamiento, y las mejoras de la confiabilidad aumentan el tiempo dedicado a generar electricidad.*

Los componentes de costos de la energía undimotriz y mareomotriz difieren entre sí, debido a las diferencias en cuanto a los entornos de operación y los métodos de conversión de energía, tal como se ilustra en la Figura 22

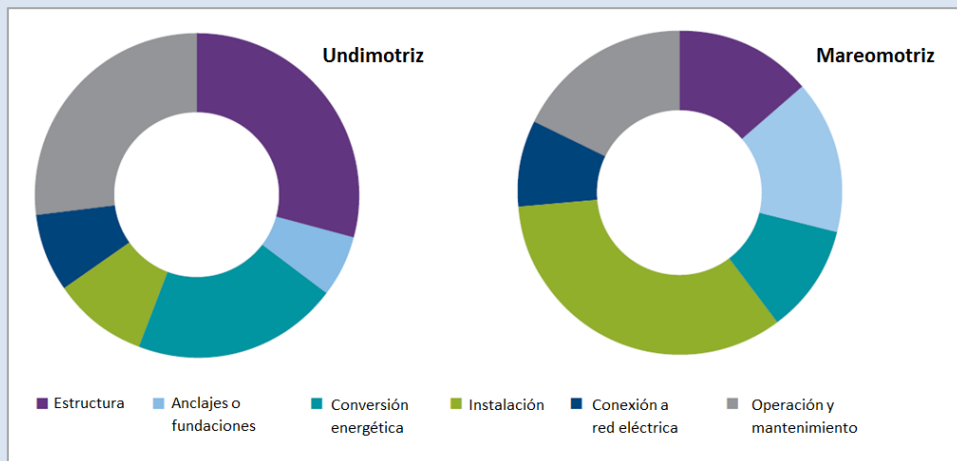


Figura 22: Costo nivelado de los componentes de la energía marina. Comparación entre convertidores de energía undimotriz y mareomotriz en unas de las primeras instalaciones a escala comercial (Carbon Trust, 2011)

(Continúa en la siguiente página)

...

Estudio de caso 5-C: Reducción de costos en la energía marina en el Reino Unido (Cont.)

Nota: los segmentos de colores representan los costos de capital, mientras que los segmentos de color gris representan los costos de operación y mantención e incluyen todos los otros costos, tales como seguros y pagos de concesión.

Cada uno de los componentes de costos mostrados en la Figura 22 tiene potencial para ser reducido, y algunos componentes de costos ofrecen un mayor potencial de reducción que otros. Ver Figura 23 a continuación.

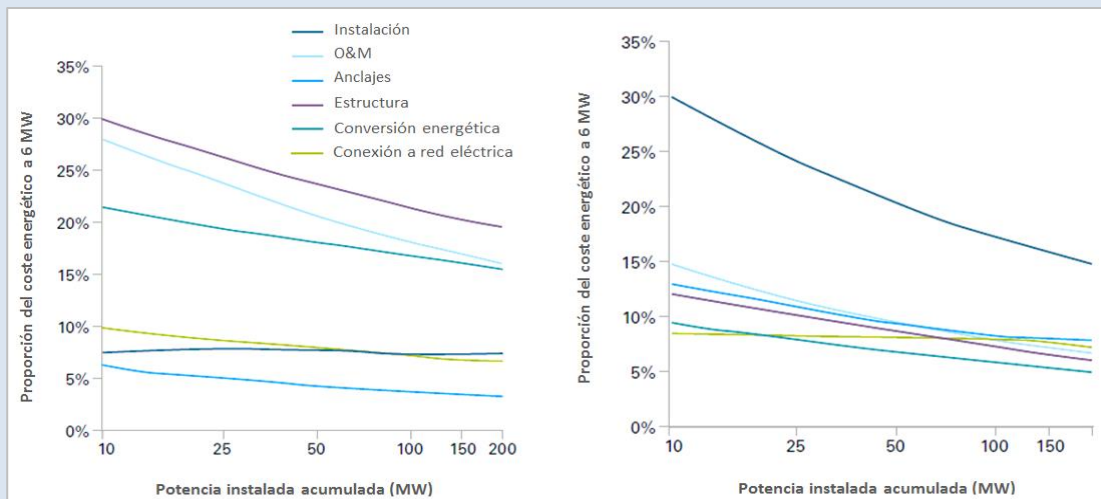


Figura 23: Curvas de potencial de reducción de costos para el caso undimotriz (izq.) y mareomotriz (der.), por componente de costos (Carbon Trust, 2011)

En muchos casos, los ámbitos que ofrecen el mayor potencial de reducción de costos son los mismos en que requieren que se desarrollen soluciones específicas para Chile. Esto es así especialmente en el caso de la energía undimotriz, porque las características de los sitios chilenos (alta energía y consistencia; oleaje de período largo; batimetría profunda y muy inclinada) exigen que sean modificados los diseños desarrollados en el extranjero (puede que los dispositivos necesiten ser más grandes/profundos) y que se desarrollen nuevos procedimientos de instalación y mantención.

La Figura 23 muestra las curvas de potencial de reducción de costos para la energía undimotriz y mareomotriz. En el caso undimotriz, se observa que la instalación, la operación y la mantención, así como el diseño de los cimientos o sistemas de amarre, son los principales componentes del costo de la energía y ofrecen el mayor potencial de reducción de costos. En el caso de las instalaciones mareomotrices, los costos de instalación son primordiales.

El UK Energy Technology Institute (Instituto de Tecnología de Energía del Reino Unido) y el Energy Research Council (Consejo de Investigación de Energía) coordinan y apoyan constantemente la investigación enfocada en reducción de costos en tecnología (ETI/UKERC, 2010) (UKERC, 2012).

En forma más reciente, el Strategic Initiative for Ocean Energy (Iniciativa Estratégica para Energía Oceánica), también, ha investigado oportunidades de reducción de costos en la energía marina/oceánica (SI OCEAN, 2013)

En base al estudio de caso anterior (Reino Unido), resulta evidente que existe un potencial significativo de reducción de costos para la energía undimotriz mediante actividades de I+D+i enfocadas en los costos de estructura, mantención de los sistemas de amarre/cimientos, y operación y mantención (O&M). Estas serían las áreas de mayor interés para Chile, por sobre los aspectos relativos a los sistemas de entrega y transmisión de electricidad desde el dispositivo o de conexión a la red eléctrica nacional, donde existe un menor potencial de reducción de costos, y no habría necesidad de desarrollar soluciones específicas para las condiciones existentes en Chile.

El sistema de amarre de los dispositivos es otra área específica en la que será necesario realizar actividades de I+D+i para adaptar las tecnologías de energía marina a las condiciones chilenas. Los proyectos de energía undimotriz en alta mar en Chile requerirán cimientos o sistemas de amarre adecuados a las pendientes pronunciadas y/o lechos de mar profundos (ver Figura 24), además de tomar en cuenta los riesgos sísmicos y de tsunami.

La tecnología de la energía mareomotriz se encuentra en una etapa más avanzada que la undimotriz, además, los sitios chilenos de energía mareomotriz presentan condiciones similares a los desarrollados en otros países, sin embargo, de igual forma existen oportunidades para realizar actividades de I+D+i en las áreas donde existe mayor potencial de reducción de costos, especialmente en torno a las tecnologías y métodos de instalación (ver Figura 23)

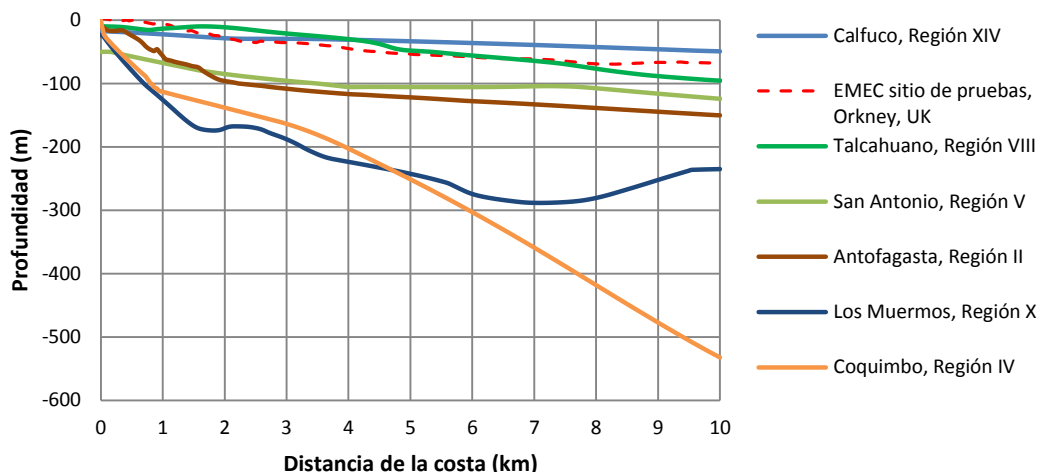


Figura 24: Comparación entre el perfil del lecho marino de Orkney, UK y la IV Región de Chile

La adaptación de tecnologías implica adaptar los dispositivos de energía marina desarrollados en el extranjero a las condiciones chilenas, pero las características y las prioridades de reducción de costos que se plantean en este informe son igualmente aplicables al desarrollo de nuevas tecnologías chilenas de energía marina. La reducción de costos en tecnología y la adaptación a las condiciones chilenas ya han sido incluidas como prioridad en la Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía, y podría ser un área de interés importante para el Centro de Excelencia Internacional (ver Recomendación 5-1, página 63).

5.4.2 Evaluación de recursos energéticos y selección de sitios con vistas a minimizar el costo de la energía

En años recientes, se han logrado avances significativos en la cuantificación de los recursos totales de Chile en términos de energía marina (Garrad Hassan, 2009) (Baird & Associates, 2012) (Universidad de Chile, 2013). Además, los resultados del estudio antes mencionado liderado por HydroChile se harán públicos en el año 2016. Cabe mencionar los diferentes niveles de cuantificación de los recursos que existen y presentados a continuación:



Figura 25: Niveles de cuantificación de recursos de energía marina

1. **Recurso Energético Total** – es la energía total existente dentro de un sistema acotado de oleaje o de marea. Esto incluye tanto la energía cinética como la energía potencial.
2. **Recurso Teórico** – es la cantidad máxima de energía que potencialmente puede ser captada del oleaje o de las corrientes de marea en la región de interés. Más allá de este punto, los intentos por extraer más energía del sistema resultan en una reducción de la cantidad total de energía que efectivamente es extraída. Los Recursos Teóricos no toman en cuenta las opciones técnicas o tecnológicas disponibles ni los factores económicos (incluyendo los costos directos del proyecto), ni tampoco las posibles limitantes arbitrarias que afecten a las condiciones hidrodinámicas del sitio mareomotriz.
3. **Recurso Técnico** – es la energía que potencialmente puede ser captada del oleaje o de las corrientes de marea en la región de interés **tomando en cuenta** las opciones técnicas o tecnológicas y los factores económicos (incluyendo los costos directos del proyecto), además de las posibles limitantes arbitrarias que afecten a las condiciones hidrodinámicas del sitio mareomotriz. En consecuencia, los Recursos Técnicos son una fracción de los Recursos Teóricos.
4. **Recurso Práctico** – es un juicio fundado sobre el nivel de Recurso Técnico que le será aceptable a la opinión pública, y es afectado por limitantes externas (tráfico marino, las actividades de pesca, las zonas navales, etc.).
5. **Recurso Económico** – esto varía en el tiempo para cada tecnología, dependiendo de los costos de los insumos, costos de conexión a la red y costos de transmisión, aspectos regulatorios, costos de tecnologías alternativas, etc.

Recomendación 5-A: Mediciones de los recursos de energía marina y batimetría del lecho marino

Aunque se han modelado los recursos de oleaje y mareas de Chile, el número de sitios donde se han llevado a cabo mediciones reales es limitado. Sería beneficioso si existiera disponibilidad de más datos estadísticos sobre los recursos de los sitios mareomotrices en el sur de Chile, (ver Recomendación 2-D, página 11) y, también, de emplazamientos undimotrices que sean prometedores a lo largo de la costa de Chile. Asimismo, se debieran obtener datos batimétricos precisos del lecho marino para la selección y evaluación de sitios apropiados para la energía marina.

Industria / Universidades

Corto plazo

Estudio de caso 5-E: El costo de los estudios de recursos energéticos en el Reino Unido

El desarrollo del sector de la energía undimotriz y mareomotriz en el Reino Unido ha sido impulsado fuertemente por el trabajo de evaluación estratégica de recursos que ha sido realizado, y por el perfeccionamiento posterior de dicha información, tomando en cuenta los costos nivelados de generación de energía.

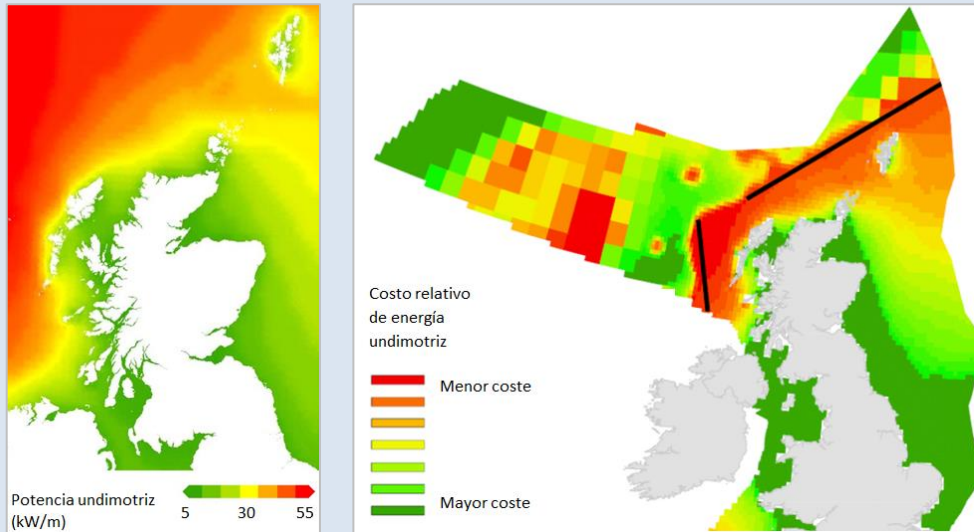


Figura 26: Mapa de los recursos de energía undimotriz de Escocia (izq.) y mapa del costo de la energía undimotriz (der.)

La Figura 26 muestra un ejemplo de la diferencia en potencia generada, entre un estudio de evaluación de recursos y un estudio del costo de la energía. Aunque el costo de energía tenderá a ser menor en áreas con mayor recurso, la consideración de otros parámetros, también, tendrá un efecto significativo (Figura 27).

Si bien es cierto que aún falta información sobre el potencial mareomotriz de áreas remotas, cada día aumenta el conocimiento existente sobre la totalidad de los recursos chilenos de energía marina,. En cuanto a los sitios de más potencial para aprovechar la energía undimotriz y mareomotriz en Chile, sería razonable dar el siguiente paso: usar la información ya disponible en términos de recursos brutos, para avanzar en la selección preliminar y la comprensión de las ubicaciones donde se podrían concretar los proyectos con los costos más competitivos.

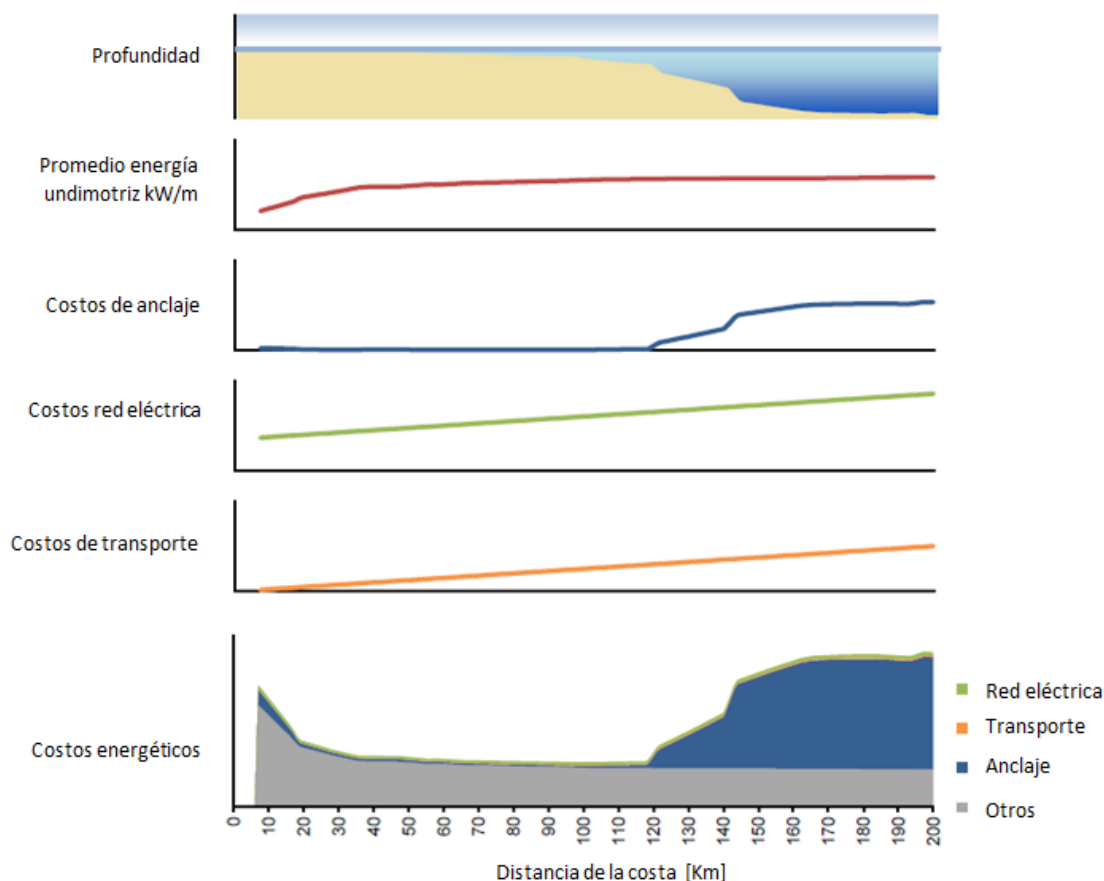


Figura 27: Consideraciones relativas al costo de la energía - el caso de la energía undimotriz (AMEC/Carbon Trust, 2012)

La Figura 27 muestra algunas de las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta en los estudios de costo de la energía a nivel nacional y regional (Recomendación 5-B, página 46). Dichos estudios pueden identificar las zonas prioritarias de desarrollo (Recomendación 4-L, Página 28), así como también, formar parte del proceso de desarrollo de sitios o proyectos específicos. Tal como se muestra en la Tabla 5 (página 40), los sitios chilenos poseen ciertas características específicas que afectarán las evaluaciones de costo de energía marina.

Recomendación 5-B: Estudio de costos de energía para emplazamientos undimotrices y mareomotrices

El **Ministerio de Energía** de Chile podría financiar un estudio de costos de la energía generada en sitios de energía undimotriz y mareomotriz, considerando tanto las tecnologías de dispositivos cercanos a la costa como aquellos para uso mar adentro. Los resultados de este estudio podrían servir de insumo para un eventual proceso de zonificación que identifique y reserve los mejores sitios para la generación de energía marina (Recomendación 4-L, página 28). El futuro Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares podría ser una organización apropiada para llevar a cabo este trabajo.

Los **Gobiernos Regionales**, también, podrían considerar dar financiamiento a estudios regionales más detallados para apoyar el desarrollo de la industria.

Ministerio de Energía / CEI

Corto plazo

5.4.3 Investigaciones medioambientales

No es posible emprender actividades industriales sin causar algún grado de impacto en el medio ambiente. Los proyectos de energía marina, también, generan impacto ambiental, y pueden influenciar las características físicas, ecológicas, patrimoniales, sociales y económicas del medio ambiente. Los estudios de impacto ambiental, a menudo resaltan los aspectos negativos de las actividades involucradas, pero también, es importante considerar los beneficios que serán generados, especialmente en el caso de la generación de energías renovables.

Los principales beneficios de esta actividad son la generación de potencia eléctrica sin dejar huella de carbono, y la consecuente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. También, pueden surgir ventajas económicas de gran importancia, y aún una serie de consecuencias muy interesantes para las actividades marítimas existentes – por ejemplo, efectos positivos en las poblaciones de peces debido a la creación de zonas cerradas a la pesca, y de arrecifes artificiales.

Si bien existen tales beneficios, no es posible pasar por alto los eventuales efectos negativos. Los principales problemas que se han presentado hasta el momento están relacionados con los efectos de la extracción de energía en el medio local; alteración del comportamiento de especies sensibles; impacto sobre el valor patrimonial de sitios y zonas protegidas; e interferencia con actividades marítimas existentes, como la navegación y la pesca.

5.4.3.1 *Sensibilidad medioambiental*

En vista de la amplia gama de aspectos y factores que inciden en todas las etapas del desarrollo de estos proyectos, hay una serie de consideraciones que deberán ser tomadas en cuenta. Los principales aspectos se mencionan en la a continuación. Tomar esta perspectiva integral de la dimensión medioambiental es útil para garantizar que los procesos de toma de decisiones, de planificación, de obtención de permisos y de monitoreo, sean adecuados y eficaces.

En el lado izquierdo de la Figura 28 se muestran algunos factores medioambientales importantes que afectan a los proyectos de energía marina. En el lado derecho, se muestran los efectos potenciales del proyecto sobre el medio ambiente (aquí se consideran los efectos sociales y económicos, además de los impactos físicos y ecológicos). En la parte superior de la figura se hace referencia a la investigación de línea base requerida antes de iniciar cualquier proyecto. Luego se indican los requerimientos relacionados con los procesos de monitoreo y de aprendizaje basado en la experiencia operacional.

5.4.3.2 *Experiencia histórica*

La implementación de dispositivos modernos de energía marina en grandes cantidades comenzó alrededor del año 2000. Desde entonces, han sido completados unos 50 proyectos de más de 100 kW de capacidad cada uno. Los resultados de estas iniciativas representan información valiosa sobre las problemáticas que probablemente deberán ser enfrentadas en el contexto de la instalación, operación y el eventual retiro de las grandes “granjas” de dispositivos de energía undimotriz y mareomotriz y la infraestructura relacionada.

Hasta el momento se han producido pocos (o quizá ningún) impacto ecológico negativo, pero sí ha habido beneficios importantes, tanto económicos como sociales, especialmente en áreas remotas. En el caso de los proyectos de energía marina y eólica, la presencia visual de los equipos generadores muchas veces ha sido una consideración más importante que los efectos funcionales o ecológicos.

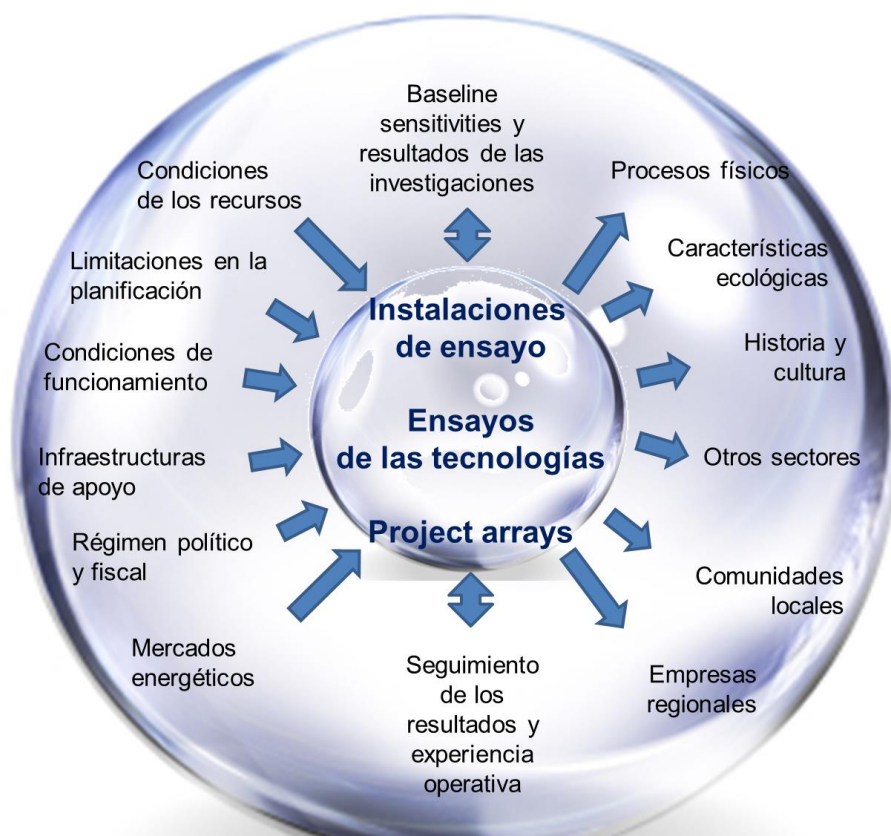


Figura 28: Principales interacciones medioambientales relacionadas con proyectos de energía marina

Se desprende de la experiencia hasta la fecha que la investigación de la energía marina aplicada y, particularmente, la investigación del medio ambiente deben ser priorizadas y coordinadas con el objeto de asegurar los mejores resultados para la industria, ver Recomendación Recomendación 5-1 al final de este capítulo.

Recomendación 5-C: Priorización de la investigación ambiental utilizando un enfoque basado en riesgos; creación de un grupo de trabajo para coordinar la investigación medioambiental

Dada la importancia de la investigación del medio ambiente y el hecho de que muchas universidades chilenas ya están activas en este campo, sería recomendable establecer un grupo de trabajo para coordinar la investigación medioambiental. El futuro Centro de Excelencia en Energía de los Mares podría apoyar este proyecto.

Una colaboración internacional de este tipo, también, aseguraría que la línea de base y monitoreo de datos se realice de una forma coherente.

Ver, también, Recomendación 4-H en Evaluación de Impacto Ambiental, página 25.

Universidades chilenas/CEI

En desarrollo

Estudio de caso 5-F: Priorización del trabajo de investigación en Estados Unidos

Centros de investigación universitaria como el Northwest National Marine Renewable Energy Centre (NNMREC) y laboratorios nacionales tales como el Pacific Northwest National Laboratory en Estados Unidos son participantes activos que desarrollan actividades de investigación sobre energía marina y el medio ambiente. La Figura 29 ejemplifica cómo, tomando en cuenta la importancia potencial y la incertidumbre relacionadas con la interacción entre los dispositivos de energía marina y el medio ambiente, se pueden priorizar, y enfocar las investigaciones en las problemáticas más significativas.

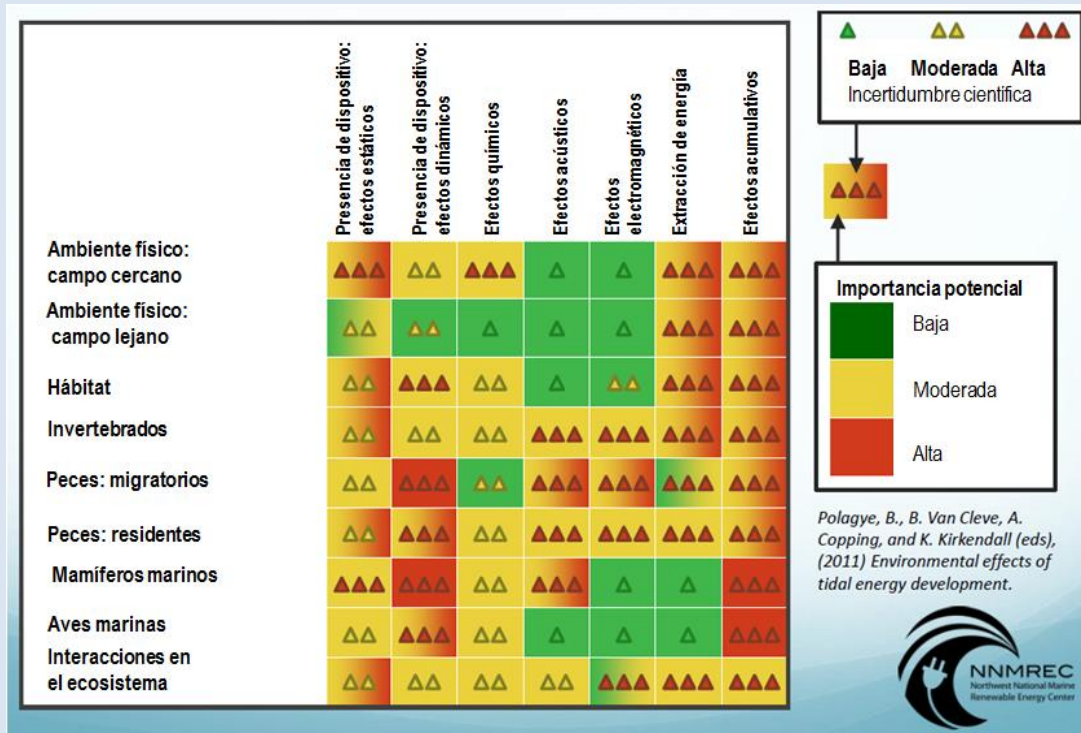


Figura 29: Ejemplo de priorización de los programas de investigación tomando en cuenta la incertidumbre y la importancia relativa de los factores (Polagye, et al., 2010) (NNMREC, 2013)

Otra observación que podríamos hacer en base a este ejemplo, es la relativa incertidumbre de los efectos acumulativos: los efectos ecológicos observados en los casos de desarrollos a pequeña escala de los dispositivos de energía marina han sido exiguos, pero los posibles efectos de proyectos a gran escala aún no han sido determinados.

Gran parte de la investigación medioambiental debe ser realizada a nivel local, y se pueden presentar dificultades al evaluar los riesgos medioambientales sin suficiente información sobre las condiciones locales existentes. Si bien es necesario recopilar una amplia gama de información general de línea base, se deberá priorizar ciertos aspectos investigativos en función de los riesgos involucrados.

Las tablas que aparecen en las páginas siguientes presentan un análisis cualitativa de las interacciones medioambientales relevantes observadas en los proyectos existentes de energía undimotriz y mareomotriz, basadas en la experiencia y conocimiento de Aquatera.

Tabla 6: Resumen general de las interacciones medioambientales a la fecha (2013) en proyectos de energía undimotriz, basado en el conocimiento y experiencia de Aquatera

Leyenda:	Severo	Mayor	Moderado	Menor	Insignificante	Inexistente	Positivo
Aspectos	Interacciones medioambientales de proyectos de energía undimotriz						
Físicos							
Condiciones del mar	Menor: La mayor parte de la energía de los dispositivos undimotrices proviene de las olas de tamaño mediano. A menudo los procesos clave son afectados por las tormentas, durante las cuales los dispositivos tienden a perder energía. Por lo tanto, es improbable que haya efectos considerables.						
Lecho marino	Menor: No se han realizado mediciones, pero los estudios realizados en base a modelos sugieren que se produce cierta acumulación de sedimentos en el bloqueo de oleaje en arreglos de dispositivos, aunque a un nivel no muy pronunciado.						
Flujo de energía	Menor: Generalmente, los ecosistemas son poco sensibles a la reducción del flujo energético. Un reducido número de especies se han adaptado a ambientes con altos niveles de energía, por ejemplo, el alga <i>Fucus Disticus</i> en Orkney. Los ciclos vitales del plancton podrían verse alterados en las áreas de bloqueo de oleaje en caso de que la estratificación comience antes de la temporada.						
Ruido	Insignificante: Los dispositivos están diseñados para no emitir ruido y muchos de ellos son muy silenciosos. El oleaje, las corrientes y del tráfico de navíos (lo cual ingresa más que extrae energía) son las fuentes principales de ruido. Se presentan ruidos provenientes de construcciones de corto plazo.						
Escénico marítimo	Mayor: Las áreas costeras expuestas tienen valor como áreas silvestres, y a menudo con poca influencia antropogénica. Tales áreas pueden necesitar ser protegidas ante el desarrollo de proyectos undimotrices cercanos a la costa.						
Procesos costeros	Insignificante: En el litoral rocoso existe poco potencial de que se produzcan cambios, incluso, en el caso de las costas arenosas, los cambios se producen durante las tormentas, pero los cambios no son grandes en el caso de muchos dispositivos de energía undimotriz.						
Ecológicos							
Plancton	Insignificante: No se esperan efectos directos. Es posible que en el caso de un efecto significativo de bloqueo de oleaje, la dinámica de mezclado de la columna de agua se pudiera ver alterada, lo que afectaría a la sucesión de especies en la zona. Para que el efecto sea significativo, el bloqueo de oleaje tendría que ser de grandes dimensiones (>10km ²).						
Bentónico	Insignificante a positivo: Hay efectos directos derivados de la colocación de sistemas de anclaje y amarre, y también, debido a la instalación de cables. La experiencia ha demostrado que la escala del impacto negativo es pequeña y probablemente es insignificante. Los dispositivos representan obstáculos para la pesca de arrastre de fondo, protegiendo a comunidades bióticas en el lecho marino.						
Peces	Insignificante a positivo: El efecto más probable es la conglomeración de peces alrededor de las estructuras (los dispositivos más los sistemas de amarre), creando un equivalente al "efecto arrecife". Existe cierta preocupación sobre impactos relacionados con la migración de especies vulnerables o protegidas, por ejemplo, el salmón, pero aún no existe evidencia de ello. Los dispositivos representan obstáculos para la pesca de arrastre de fondo, protegiendo a las comunidades de peces.						

Mamíferos marinos	Insignificante: Las interacciones potenciales con los dispositivos undimotrices son benignas, ya que estos dispositivos se mueven relativamente lento y generalmente se ubican en áreas de baja corriente. Existe cierta preocupación sobre posible atrapamiento de mamíferos en zonas con alta densidad de especímenes.
Aves marinas	Insignificante: No se han identificado mecanismos que pudieran representar efectos directos. Las aves marinas parecen ser indiferentes a los dispositivos ya desplegados. Algunas poblaciones de patos marinos y de aves buceadoras han sido desplazadas por las granjas eólicas de energía marina en el Mar del Norte.
Aspecto	Interacción medioambiental de proyectos de energía undimotriz
Patrimonial	
Geología	Insignificante: Perturbaciones muy locales creadas por la excavación de las zanjas para las cables, en casos que sea necesario).
Especies	Insignificante a positivo: Los efectos negativos directos causados por los dispositivos en algunas especies, son generalmente insignificantes. La exclusión de la pesca de arrastre generalmente ayuda a las especies vulnerables.
Hábitats	Insignificante a positivo: Los efectos negativos directos causados por los dispositivos en los hábitats son generalmente insignificantes. La exclusión de la pesca de arrastre generalmente ayuda a los hábitats vulnerables.
Paisajístico	Menor a mayor: Dependiendo de la tecnología, los impactos varían, pero los dispositivos colocados cerca de la costa pueden ser inaceptables en algunas áreas costeras muy sensibles o de alto valor patrimonial o ecológico.
Histórico	Insignificante: Hay poca probabilidad de que haya interferencia con artefactos históricos. Hay cierto potencial de interferencia con el paisaje de áreas costeras protegidas.
Sociales/económicos	
Demográfico	Positivo: La población de Orkney ha aumentado un 10% en 10 años, en parte debido a puestos de trabajo en energías renovables. La energía undimotriz puede generar puestos de trabajo desafiantes dirigidos a los jóvenes, lo que ayuda a detener el flujo de talento fuera de las áreas remotas.
Infraestructura y cadena de abastecimiento	Positivo La energía undimotriz puede estimular el desarrollo de la infraestructura y la cadena de suministros. Puede generar puestos de trabajo localmente y algunos trabajos (por ejemplo, apoyo a las operaciones) serán a largo plazo. Los proveedores de servicios obtendrán experiencia que se podrá ofrecer en otros mercados. Puede aumentar la demanda de espacios de atracadero en los pequeños puertos hasta que se construyan instalaciones dedicadas.
Otros usuarios del mar	Moderado: Puede haber cierta interferencia con actividades de pesca, de tráfico marino y de colocación de cables submarinos, debido a los ensayos la implementación de los dispositivos de energía undimotriz.
Energía	Positivo: Los proyectos de energía renovable reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación local. La diversidad, seguridad e independencia del suministro energético pueden ser mejorados. Pueden ser necesarios nuevos sistemas de gestión de energía, almacenamiento y sistemas de transmisión.

La Tabla 7 en la página siguiente presenta este mismo análisis para los proyectos de energía mareomotriz.

Tabla 7: Resumen de interacciones medioambientales históricas en proyectos de energía mareomotriz, basado en el conocimiento y experiencia de Aquatera

Legenda:	Severo	Mayor	Moderado	Menor	Insignificante	Inexistente	Positivo
Aspectos	Interacción medioambiental de proyectos de energía mareomotriz						
Físicos							
Condiciones del mar	Menor: En las corrientes de marea, las estructuras de apoyo y la señalización para el tráfico marítimo pueden crear perturbaciones en el agua, que podrían involucrar riesgos para las embarcaciones pequeñas.						
Lecho marino	Insignificante: El lecho marino en los sitios de marea generalmente consiste de roca o gravas o piedras redondas.. Existe escasa probabilidad de socavación y las perturbaciones directas de cimientos y cableado de dispositivos generan huellas de poca consideración.						
Flujo de energía	Menor: El llamado ‘efecto de bloqueo” sólo comienza a producirse una vez que la cantidad de energía extraída supera el 10% del flujo total de energía. Se debe esperar cierta interferencia con la circulación de las masas de aguas cercanas ¹¹ .						
Ruido	Insignificante: Las embarcaciones de apoyo son la principal fuente de ruido, y, generalmente hay mucho ruido ambiental. Se presenta ruido proveniente de construcciones de corto plazo.						
Escénico marítimo	Moderado: Los dispositivos, las embarcaciones de apoyo, y las plataformas de las subestaciones generalmente estarán a la vista y cercanos al litoral. En áreas pobladas como son los canales, es probable que haya alta presencia de tráfico marítimo y de transbordadores.						
Ecológicos							
Plancton	Insignificante: No hay efectos directos. Aguas abajo, puede haber cambios en la circulación y tiempo de permanencia de cuerpos de agua afectados por la corriente.						
Bentónico	Menor: Al igual que en el lecho marino, la fauna no se verá muy afectada. Puede ser necesario tomar medidas de protección si se llegasen a formar arrecifes con presencia de comunidades bióticas frágiles en las áreas barridas por la corriente. Aumentará el número de comunidades sensibles a lo largo de las fosas para cables que van hasta tierra firme.						
Peces (especies pequeñas)	Positivo: Todas las estructuras pueden generar un efecto arrecife y atraer peces durante la estoa de marea. Además, ofrecen cierto refugio durante los flujos de marea. No hay evidencia de riesgo significativo de colisión.						
Mamíferos marinos, tortugas y peces de mayor tamaño	Moderado: Existe cierto riesgo de colisión en el caso de focas, lobos marinos, tortugas, ciertos tiburones y cetáceos. Hasta el momento no se ha informado de casos concretos, y los estudios de monitoreo sugieren que estas especies aprenden a evitar estos riesgos.						
Aves marinas	Positivo: Algunas especies de aves marinas, especialmente las aves cazadoras subacuáticas, comienzan a usar los dispositivos como nuevos lugares para cazar, especialmente durante la estoa de marea.						

¹¹ (Bryden & Couch, 2004)

Aspectos	Interacción medioambiental de proyectos de energía mareomotriz
Patrimoniales	
Geología	Insignificante: Es muy poco probable que las formaciones geológicas existentes en los canales estén designadas como áreas protegidas, pero los lugares donde los cables tocan tierra podrían estar dentro de áreas protegidas. Mediante un diseño adecuado, se podrán evitar eventuales efectos indeseables.
Especies	Moderado: Existen preocupaciones sobre el riesgo de colisión con las especies de tamaño mayor antes mencionadas. Muchas de estas son especies protegidas.
Hábitats	Menor: Baja probabilidad de efectos negativos, excepto en el sitio mismo de la estructura.
Paisajístico	Menor: La mayoría de los dispositivos se encuentran bajo en agua (a diferencia de la energía undimotriz). El desembarco de cables y las subestaciones pueden ser una consideración más importante que los dispositivos.
Histórico	Menor: En los cauces de las corrientes de marea es frecuente encontrar restos de naufragios de barcos, pero en general, es poco probable que haya lugares de valor histórico en el mismo cauce de las corrientes de marea.
Sociales / económicos	
Demográfico	Positivo: La población de Orkney ha aumentado un 10% en 10 años, en parte debido a los puestos de trabajo en energías renovables. La energía undimotriz puede generar puestos de trabajo desafiantes dirigidos a los jóvenes, lo que ayuda a detener el flujo de talento fuera de las áreas remotas.
Infraestructura y cadena de abastecimiento	Positivo: La energía mareomotriz puede estimular el desarrollo de la infraestructura y la cadena de suministros. Puede generar puestos de trabajo localmente y algunos trabajos (por ejemplo, apoyo a las operaciones) serán a largo plazo. Los proveedores de servicios obtendrán experiencia que se podrá ofrecer en otros mercados. Puede aumentar la demanda de espacios de atracadero en los pequeños puertos hasta que se construyan instalaciones dedicadas.
Otros usuarios del mar	Moderado: Puede haber cierta interferencia con la pesca y la actividad de transbordadores y el tráfico naviero, debido al ensayo e instalación de dispositivos de energía mareomotriz, particularmente en canales con tráfico permanente.
Energía	Positivo: : Los proyectos de energía renovable reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación local. La diversidad, seguridad e independencia del suministro energético pueden ser mejorados. Pueden ser necesarios nuevos sistemas de gestión de energía, almacenamiento y sistemas de transmisión. El objetivo escocés de contar con una matriz energética 100% renovable de aquí a 2020

5.4.4 Nichos de mercado

Existen nichos de mercado en las energías marinas que han recibido poca atención hasta el momento. Sin duda, en Europa se le ha dado preferencia al desarrollo de grandes instalaciones o dispositivos de varios MW, para la producción de niveles de potencia que se puedan entregar a las redes de distribución eléctrica. En Chile, la industria minera y salmonera y las comunidades ubicadas en zonas de escasez de agua o en zonas remotas fuera de la red eléctrica, podrían ofrecer oportunidades para que el país asegure una posición de liderazgo en aplicaciones rentables de energía marina, incluso antes que se entregue electricidad a los sistemas interconectados nacionales.

5.4.4.1 *Minería*

En Chile, la actividad minera está concentrada en el norte del país, en uno de los desiertos más secos del planeta, en donde, históricamente, el abastecimiento de agua ha sido uno de los

principales problemas del sector. En años recientes, el problema se ha agudizado aún más por el aumento de la actividad minera, el crecimiento demográfico y el agotamiento de algunos recursos hídricos debido a la sobreexplotación. Hoy en día, la industria minera tiene sus esperanzas puestas en la fuente de agua más cercana: el océano. Se calcula que los requerimientos del sector, en términos de agua desalinizada, aumentarán en más de 400% en los próximos cuatro o cinco años (BNamericas, 2013). El Gobierno de Chile ha calculado que de aquí a 2020 la minería del cobre podría necesitar 6,3TWh de energía al año solo para fines de desalinización y de bombeo. La Tabla 8 hace referencia a algunas minas chilenas que están usando agua de mar o agua desalinizada en sus operaciones.

Tabla 8: Muestra de operaciones mineras que usan agua desalinizada o agua de mar en Chile (GWI, 2011)

Empresa	Operación	Recurso utilizado	Capacidad (m ³ /día)	Inversión/Costo (USD)	Estado
BHP Billiton	Plata Coloso, en Minera Escondida	Desalinización	45.360	USD 200 millones (USD 50 millones para la planta y USD 150 millones para el sistema de bombeo)	En operación desde 2006
++ Minerals	Mina Michilla	Uso directo de agua de mar para lixiviación	6.500	Desconocido	En operación desde comienzos de los 1990s
Antofagasta Minerals	Esperanza	Uso directo de agua de mar para flotación de concentrado de cobre	62.200	USD 2,3 mil millones (proyecto completo incluyendo ducto para agua de mar)	La operación comenzó el 2011

Para satisfacer las necesidades de las ciudades y de la minería en el norte de Chile, se han construido grandes plantas de desalinización. Los costos involucrados son altos, y las autoridades locales y el sector privado están activamente explorando las alternativas ofrecidas por las energías renovables, incluyendo la energía marina.

El potencial undimotriz en el norte de Chile es más bajo que en el sur, pero con un promedio energético de 20 – 25 kW/m es suficiente para la generación eléctrica, y además, presenta una alta regularidad (ver Figura 37). Identificar y desarrollar las mejores soluciones de generación undimotriz para fines de bombeo o de desalinización, podrían permitir que Chile se convierta en el líder de este mercado. En cuanto a los recursos mareomotrices en el norte de Chile, éstos son mínimos.

Evidentemente, además del agua, la minería necesita enormes cantidades de energía para otros usos: la minería del cobre por sí sola representa el 30% de todo el consumo eléctrico en Chile (Ministerio de Minería, 2012) y la minería usa aproximadamente el 90% de la electricidad generada en el SING. Existe un gran potencial para que la energía marina entregue electricidad a la minería en todo Chile. A nivel internacional, las actividades de I+D+i se concentran en el desarrollo de equipos a escala de MW para sistemas de generación de electricidad que se entrega a la red eléctrica, y que en el caso de Chile serían adecuados para enfrentar estas necesidades. Existen interesantes oportunidades para programas coordinados de I+D+i para determinar cuáles dispositivos son los más idóneos, y cómo podrían ser integrados.

Sin embargo, en términos de desarrollo de nuevas tecnologías, puede ser igualmente o incluso más interesante que Chile se concentre en el desarrollo de dispositivos de energía undimotriz para la desalinización y el bombeo de agua de mar (aunque el primero podría tener limitantes debido a la altitud). Este sector ha recibido relativamente poca atención hasta la fecha y su potencial es enorme, especialmente en el norte de Chile. Como cualquier otra tecnología precomercial de energía renovable, se necesita resolver el problema en torno a la confiabilidad, y sería interesante considerar cómo los dispositivos de energía undimotriz podrían reducir la carga de plantas modificadas o existentes, en lugar de desarrollar sistemas independientes.

Recomendación 5-D: Nichos de mercado - desalinización y bombeo de agua a partir de energía undimotriz para la industria minera

El **Ministerio de Minería**, conjuntamente con **CORFO** y el **Ministerio de Energía**, podrían emprender estudios que examinen el potencial nacional que ofrece la energía marina para abastecer las necesidades de agua de mar bombeada y desalinizada para la industria minera. Dichos estudios, también, podrían cuantificar el tamaño del mercado de las energías renovables en la industria minera, incluyendo las eventuales contribuciones de la generación eólica y solar. El futuro Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares podría considerar este nicho de mercado como un área de interés para la actividad I+D+i.

Gobierno de Chile / CEI

Corto plazo

5.4.4.2 Abastecimiento de agua potable

Las ciudades del norte de Chile dependen cada vez más de la desalinización para satisfacer sus necesidades de agua potable, y además, muchas comunidades aisladas reciben su agua potable por medio de camiones aljibe. Existe un potencial significativo para que la energía undimotriz ayude a producir agua dulce para dichas localidades y, tal como se ha dicho, este es un aspecto del desarrollo de la energía marina que ha recibido poca atención hasta la fecha, comparado con la generación de energía para los sistemas interconectados de distribución eléctrica.

Recomendación 5-E: Nicho de mercado- desalinización a partir de energía undimotriz para el abastecimiento de agua potable

El **Gobierno de Chile** debiera considerar el apoyo a proyectos de I+D+i que se enfoquen en la desalinización a partir de la energía undimotriz. El futuro **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares podría considerar este nicho de mercado como un área de interés para la actividad I+D+i.

Gobierno de Chile /CEI

Corto plazo

5.4.4.3 Acuicultura/Salmón

El sector de la acuicultura en Chile ha crecido consistentemente en las últimas décadas –en 2012, había un total de 3.200 concesiones marinas de acuicultura, que cultivan a 18 especies diferentes. De estas, la acuicultura del salmón es la más importante, ya que representa el 93% de las exportaciones provenientes de la acuicultura (SUBPESCA, 2012). Además de estas concesiones acuícolas ya en operación, se están tramitando más de 5.900 solicitudes para concesiones de acuicultura.

La Figura 26 ofrece un indicio de la densidad de las operaciones de las granjas salmoneras en el sur de Chile. La acuicultura del salmón es un importante motor económico en Chile, especialmente en áreas remotas: cada punto rojo en el mapa representa una concesión de acuicultura de salmón.

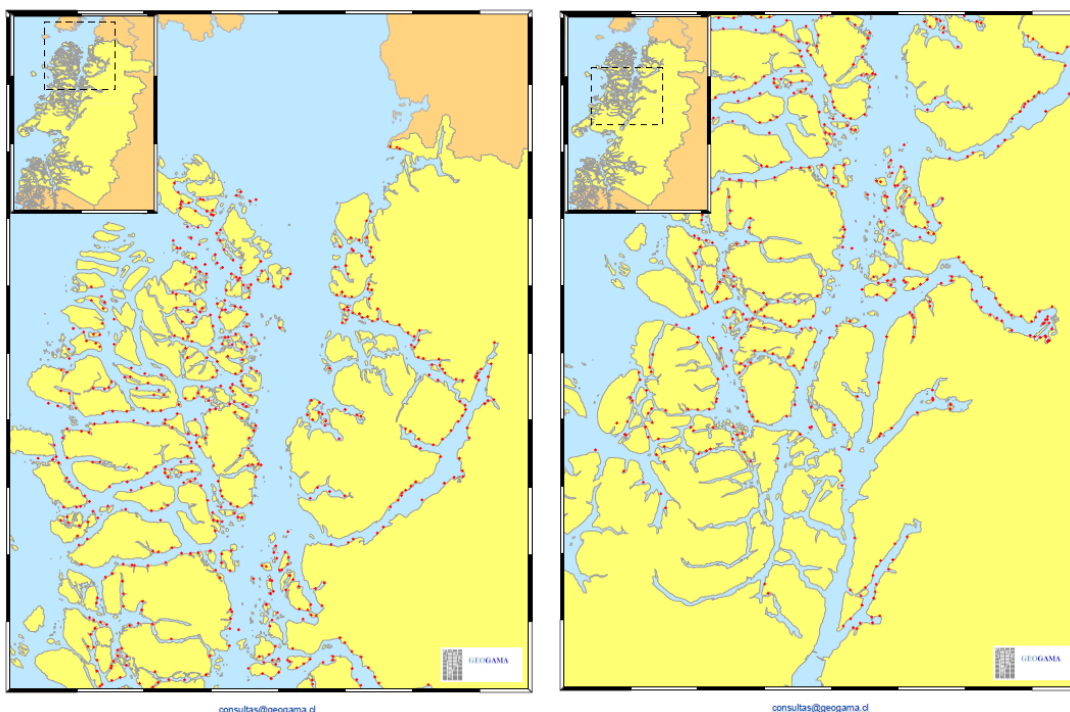


Figura 30: Ubicación de granjas salmoneras en Aysén - XI Región (Fuente: GEOGAMA)

Muchas concesiones de acuicultura están ubicadas en los fiordos y canales del sur de Chile (ver mapas en capítulos relativos a regiones), lo que implica desafíos logísticos significativos y altos costos de operación, especialmente en términos de energía. Una granja salmonera típica (sitio de cultivo) necesita aproximadamente 250kW de potencia eléctrica, que comúnmente es producida mediante equipos generadores que consumen diesel. Si bien la mayoría de las jaulas que albergan a los peces están ubicadas en sitios protegidos, es frecuente que haya fuertes corrientes u oleaje en las cercanías, y cada vez, se desarrollan sitios más expuestos. Existe un potencial notable (actualmente esta siendo investigado por la Universidad Austral) para suministrar las granjas salmoneras con energía de recursos undimotrices y mareomotrices locales.

Sin embargo, las granjas salmoneras tienen requisitos energéticos muy específicos (debido a los ciclos de alimentación), y requerirán de sistemas de gestión de energía integrada a fin de acomodar el fluctuante suministro de energía renovable a sus operaciones. El reemplazo o, al menos, la reducción del consumo de diesel presentaría beneficios logísticos, operativos y ambientales, además de la reducción de los costos operacionales, emisiones y riesgos de derrames.

Recomendación 5-F: Nichos de mercado - sistemas de energía marina para granjas salmoneras y otros usuarios aislados de energía

El **Gobierno de Chile y el Gobierno regional** debiera considerar el apoyo a proyectos de I+D+i que se enfoquen en los sistemas de energía marina para las granjas salmoneras y otras comunidades aisladas. (Ver Recomendación 7-A, página 97).

El futuro **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares podría considerar este nicho de mercado como un área de interés para la actividad I+D+i.

Gobierno de Chile / CEI

Corto plazo

5.4.4.4 Las comunidades aisladas (energía y agua)

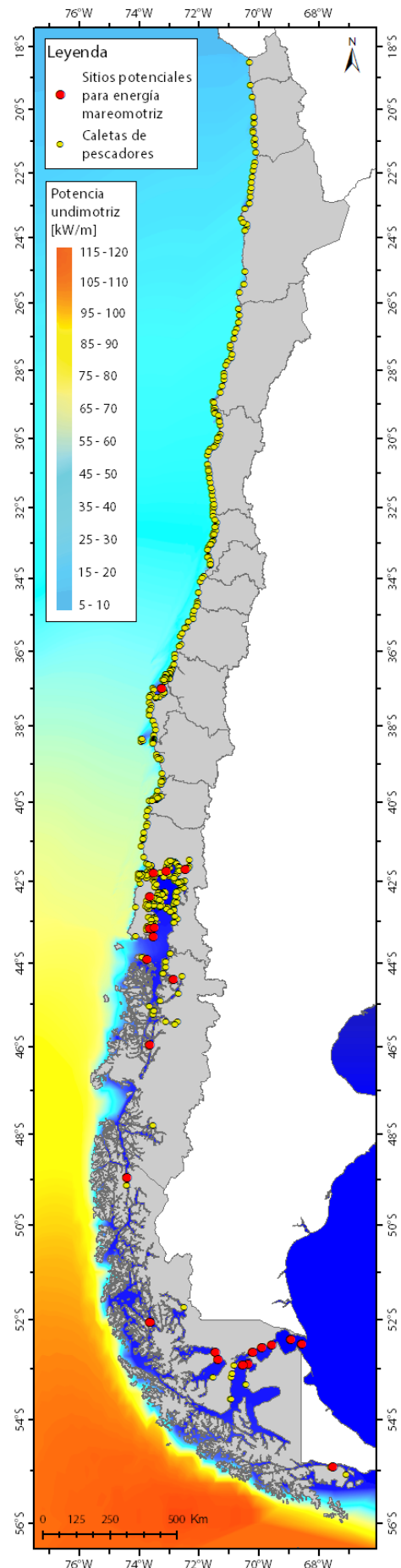
En Chile existen más de 3.500 comunidades aisladas, y muchas de ellas tienen acceso limitado a los servicios básicos. La Subsecretaría de Desarrollo Regional administra un programa que beneficia a las comunidades aisladas, en el que cada región define los objetivos de desarrollo.

En el extremo norte y sur del país en particular, existen muchas comunidades costeras que están extremadamente aisladas, debido a las grandes distancias o la dificultad de acceso. Estas comunidades se enfrentan a múltiples desafíos, entre los que destacan la carencia de agua potable y de electricidad a precios asequibles, en donde el diesel de alto precio frecuentemente es la única fuente de energía. La energía marina posee un potencial significativo para entregar electricidad y agua desalinizada a precios razonables a las comunidades costeras aisladas y a las comunidades costeras.

Depender exclusivamente de una fuente de energía renovable tiene la desventaja de que se deberá seguir dependiendo del diesel como respaldo en horas de estoa de marea, o cuando el oleaje disminuye. Conviene que la estrategia energética de las comunidades aisladas y que no se encuentran conectadas a las red eléctrica, considere la posibilidad de contar simultáneamente con varias tecnologías, para lograr la seguridad energética a más bajo costo.

Muchas tecnologías undimotrices y mareomotrices en desarrollo tienen el objetivo de generar muchos MW de potencia a una escala comercial, es decir energía que pueda competir con las alternativas de bajo costo, incluyendo otras fuentes renovables. Sin embargo, es posible que tales tecnologías no sean idóneas para las comunidades aisladas o, si son instaladas como unidades independientes, podrían tener un costo de generación significativamente más alto que si fueran instaladas como parte de “granjas” de muchas unidades, que pueden aprovechar las economías de escala.

Es posible que exista una gran oportunidad para Chile, en términos de ocupar una posición de liderazgo en el desarrollo de las tecnologías undimotrices y mareomotrices a pequeña escala. Si bien las tecnologías a pequeña escala no pueden esperar tener las mismas economías de escala (reducción de costos) que tienen los grandes proyectos, tampoco están obligadas a cumplir con los mismos objetivos de reducción de costos que las grandes empresas generadoras, ya que sólo deben competir con la



generación local basada en diesel u otras tecnologías micro-renovables. El desarrollo de tales tecnologías tendría oportunidades de mercado significativas no solo en Chile, sino a lo largo de Sudamérica, y podría abrir el camino para proyectos conectados a la red eléctrica de mayor escala, a través del desarrollo de experiencia y la cadena de suministro.

También, cabe mencionar los beneficios fiscales significativos y las zonas libres de comercio existentes en algunas regiones remotas de Chile (ver Capítulo 7 sobre Financiamiento), que podrían apoyar proyectos en esta área.

Recomendación 5-G: Nichos de mercado - sistemas de energía marina para comunidades aisladas.

El **Gobierno de Chile** debería apoyar el desarrollo de expertos chilenos en tecnologías de energía marina a pequeña escala, enfocadas especialmente en servir a las comunidades aisladas.

El futuro **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares consideraría este punto como un área de interés para la actividad I+D+i.

Ver, también, Recomendación 7-A en la Sección de Financiamiento 0., página 96.

Gobierno de Chile / CEI

Corto plazo

5.4.5 Centros de prueba de energía marina – descripción, función y finalidad

A nivel mundial, existen unos 20 centros de prueba de energía marina, incluyendo sitios de pruebas que están disponibles para diversos usuarios (tales como EMEC en Orkney, Escocia), así como también, ubicaciones donde se encuentran dispositivos únicos (tal como en Hammerfest, Noruega o la Isla de Islay, Escocia). Cada uno de estos centros emplazados en distintas partes del mundo tiene características especiales, entrega servicios distintos, y se establecieron debido a diferentes propósitos económicos, prácticos y políticos. Los factores que se consideran en un sitio de prueba se presentan a continuación en la Figura 31.

		Servicios							
		Acceso al centro de prueba	Permisos y licencias	Cableado de conexión	Seguros / Verificación	Apoyo para la instalación	Monitoreo ambiental	Monitoreo de los dispositivos	
Finalidad	Estado	Centro de prueba						Inventores de tecnología	Cientes
	Promoción de I+D+i							Mejoradores de tecnología	
	Seguridad de los empleos							Comercialización de tecnología	
	Creación de empleos							Desarrolladores de proyectos	
	Seguridad energética							Inversores en tecnología	
	Actividad económica							Inversores en proyectos	
	Costo de la energía							Proveedores de componentes	
	Inversión interna							Desarrolladores de componentes	
		Tarifas de atracadero	Expertise en ventas	Honorarios de agencias	Generación de energía	Derechos de entrada de visitantes	Tecnologías propias	Inteligencia de mercado	
		Dimensión finanzas							

Figura 31: Esquema de aspectos considerados por los centros de prueba de energía marina

En cada país donde se esté pensando establecer o promover la energía marina, se deberá responder a la siguiente interrogante:

- ¿Será necesario contar con un centro de pruebas?

En este sentido, el primer aspecto que conviene considerar son las consecuencias que ya se han producido como resultado de haber fundado los centros de prueba ya existentes. Varios centros de prueba ya han sido establecidos o están en proceso de serlo, y algunas de estas experiencias se presentan entre los estudios de casos.

Un factor que es común en todos los centros de prueba es la complejidad de obtener financiamiento y de determinar el sitio ideal para establecer el centro de prueba. Hay otras lecciones clave que podemos aprender de estas experiencias:

- Siempre los actores de mercado se demoran más de lo previsto en comenzar a usar un centro de prueba.
- La implementación de tecnologías nuevas frecuentemente van asociados con demoras por razones técnicas, averías y desgaste de materiales que causan problemas operacionales.
- Los centros de prueba impulsan un importante nivel de desarrollo en la cadena de abastecimiento a nivel local y regional.
- Los centros de prueba deberán enfrentar las mismas problemáticas de planificación marina que cualquier otro proyecto.
- Muchos de los usuarios de los centros de prueba no cuentan con grandes recursos financieros o técnicos.

Dado el estado de la industria de la energía marina, el interés de los gobiernos en promover este sector industrial, y el rápido desarrollo de las tecnologías a nivel internacional, no es sorprendente que haya interés por establecer algún tipo de centro de prueba de energía marina en Chile. Las interrogantes que deben ser consideradas en este sentido son las siguientes:

- ¿El centro de pruebas sería para energía undimotriz, para energía mareomotriz, o para ambas?
- ¿Es necesario que el centro de pruebas esté consolidado en un solo lugar?
- ¿Qué se va a probar (dispositivos, sistemas, componentes)?
- ¿A qué escala se van a probar los dispositivos?
- ¿Qué y cuánto financiamiento está disponible?
- ¿Se desea conectar el centro de pruebas al SIC o SING?
- ¿A quién le pertenecerá y quién administrará el centro?
- ¿Qué servicios, instalaciones y financiamiento le serán ofrecidos a los usuarios?
- ¿Durante cuánto tiempo se podrá usar el centro (por parte de los usuarios)?
- Entre otras

Ya existen tres iniciativas que podrían estar fuertemente relacionadas con la creación de un centro de pruebas adecuado en Chile. Estas iniciativas son: los dos proyectos pilotos tecnológicos que han sido propuestos, y el anunciado proyecto de establecer un Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares. Si bien ninguna de estas iniciativas está bajo la obligación de establecer un centro permanente de pruebas, es probable que cada proyecto pueda contribuir una parte (pequeña o grande) del centro de pruebas en consideración.

En base a lo anterior, las conclusiones alcanzadas en los talleres y los resultados del estudio de necesidades, se puede decir que:

- Chile se beneficiaría de establecer uno o varios centros de prueba de energía undimotriz y mareomotriz.

- Un centro de prueba es algo distinto de un centro de excelencia o de un proyecto piloto individual, aunque estas distintas iniciativas pueden ser combinadas provechosamente.
- Constituye una gran ventaja el poder ofrecer un acceso rápido a un sitio de pruebas, en términos de obtención de concesiones y permisos.
- La especificación y disponibilidad de conexiones (por cable) hasta el litoral y posiblemente hasta el SIC o SING, constituyen otra ventaja que puede ofrecer un eventual centro de prueba.
- Es importante considerar la posibilidad de ofrecer (a los usuarios) un grado de apoyo para el proceso de instalación (de sus dispositivos).
- Es muy importante verificar la integridad de las estructuras y componentes a escalas de implementaciones predecibles..
- El servicio de verificación y afinamiento funcional de los elementos del diseño debe efectuarse a pequeña escala.
- El centro de pruebas y las instalaciones anexas deberán contar con estándares básicos de calidad que les serán exigidos a los usuarios.
- La disponibilidad de una cadena de abastecimiento y de infraestructura pertinente serán de suma importancia para cualquier centro de prueba.
- El sitio de pruebas debe contar con una serie de áreas individuales para dispositivos específicos, cada una destinada a la prueba de un dispositivo único o de pequeños conjuntos de dispositivos (arreglos).
- Sería una ventaja contar con sitios de diferentes tamaños, que puedan albergar dispositivos undimotrices y mareomotrices a diferentes escalas.

Si uno o más centros de prueba de energía marina llegan a ser creados en Chile, probablemente se producirían otros beneficios derivados de las actividades relacionadas, incluyendo:

- Pruebas eólicas mar adentro
- Pruebas de tecnologías marítimas y otras
- Pruebas de tecnologías relacionadas con la extracción de gas y petróleo
- Plataformas para instrumentación y recolección de datos
- Plataformas para otras investigaciones

Algunos de los aprendizajes logrados mediante los centros de pruebas de dispositivos son:

- Garantizar que la infraestructura sea adecuada para la implementación de tecnología en el futuro (y, si es posible, para implementación a escala comercial). A nivel internacional, ha habido ejemplos de equipos eléctricos que han sido instalados bajo el mar, y que luego no fueron adecuados para los desarrolladores de dispositivos de energía marina.
- Cabe mencionar que a EMEC le ha tomado diez años llegar a estar plenamente establecida como centro global de pruebas de energías marinas, aun estando muy cerca de la mayor superficie de lecho marino concesionado comercialmente, que cuenta, además, con mucha ayuda estatal de parte del Gobierno en Escocia. Ver Estudio de caso 11-A, página 161.
- Es importante seleccionar un modelo operacional adecuado para las operaciones marinas, es decir, definir interrogantes tales como ¿Quién controla el acceso a esta zona? ¿Quién controla las operaciones?, ¿Quién otorga los permisos para los usuarios?, etc.

Estudio de caso 5-G: Centros de prueba de energía marina

En el Reino Unido hay tres centros de prueba dedicados a las distintas etapas de desarrollo de los dispositivos de energía mareomotriz / undimotriz. Estos centros son:

NAREC (National Renewable Energy Centre) - Inaugurado el año 2002 en Blyth, en el noroeste de Inglaterra. Realiza pruebas a escala de los dispositivos y sub-sistemas de energía marina.

1. 3 Diques Secos – El mayor de los cuales tiene 75m de largo, 25m de ancho y 8m de profundidad.
2. Canal de Oleaje – Un entorno simulado de oleaje utilizado para la prueba de prototipos de dispositivos de energía undimotriz, ubicado dentro de un antiguo dique seco convertido.
3. Nautilus – Un sitio de pruebas para trenes de potencia de generadores de energía mareomotriz de hasta 3MW, que permite realizar actividades de certificación, confiabilidad y evaluación de eficiencia de nuevos dispositivos mediante pruebas aceleradas de vida útil, a costos y riesgo significativamente más bajos que las pruebas en el mar.
4. Centro de Pruebas Mareomotrices – El Tees Barrage Tidal Turbine Test Facility (Centro de Pruebas de Turbinas Mareomotrices de Tees Barrage), ubicado en Stockton, fue inaugurado en 2007.

EMEC – Desarrollo de prototipos

European Marine Energy Centre Ltd. (EMEC) tiene su oficina principal en Orkney, en el parque de energía marina Pentland Firth y Orkney Waters. Fue establecido en 2003, y sus instalaciones para pruebas han crecido y se han diversificado, atrayendo a desarrolladores de energía undimotriz y mareomotriz de todo el mundo. EMEC es el primer y único centro de su tipo en el mundo, que le ofrece a desarrolladores de tecnologías undimotrices y mareomotrices sus instalaciones en mar abierto, acreditadas para realizar pruebas. A la fecha, sus centros de prueba undimotrices y mareomotrices ostentan el mayor número de implementaciones de dispositivos de energía marina.

El centro ha generado mucho interés internacional y por parte de los desarrolladores, y también, atrae la atención de los medios de comunicación. El éxito de este centro, también, ha impulsado el desarrollo de la cadena local de abastecimiento, y cada día realiza más actividades de investigación y de educación. EMEC, también, administra pequeños centros de prueba (tipo incubadoras) donde los dispositivos a pequeña escala (o aquellos en etapas tempranas de su desarrollo) pueden ser expuestos a condiciones marinas algo más suaves que en los centros de prueba undimotrices y mareomotrices a escala real.

Wave Hub – demostración y pruebas de conjuntos de dispositivos (arreglos)

Wave Hub es una instalación en alta mar conectada a la red nacional de distribución, ubicada en el suroeste de Inglaterra para pruebas de tecnología a gran escala. Consiste de puntos de conexión eléctrica instalados en el lecho marino, a 16 kilómetros de la costa norte de Cornwall en el suroeste de Inglaterra, al cual pueden ser conectados los dispositivos de energía undimotriz. El proyecto tiene una concesión de 25 años por ocho kilómetros cuadrados de superficie de mar y tiene cuatro secciones distintas, cada una con una capacidad de 4-5MW.

Recomendación 5-H: Implementación de proyectos pilotos y coordinación con el CEI

Sería beneficioso que los proyectos pilotos se establecieran de acuerdo a los plazos acordados, ya que los retrasos pueden tener un impacto negativo en el sector de las energías marinas.

El futuro **Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares** y los **Proyectos pilotos** en energía marina podrían celebrar un acuerdo formal de cooperación, para garantizar que las pruebas de dispositivos a escala real estén coordinadas con las líneas de investigación del Centro de Pruebas, en aspectos tales como componentes, materiales, estrategias de operación y mantención y protección del medioambiente.

Ya existen varios centros experimentales y de pruebas de energía marina, cercanos a las ubicaciones de implementación comercial de tecnologías marinas en Europa y Norteamérica. Sería conveniente que los centros de prueba y los proyectos pilotos chilenos se coordinen con dichos centros de prueba, para obtener los conocimientos adquiridos y evitar la duplicación de esfuerzos.

CEI/ Proyectos pilotos

Urgente

5.5 Conclusiones – investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

Los nuevos programas chilenos de investigación en energía marina deberán complementar a aquellos que ya existen. Una serie de estudios han considerado los desafíos y las necesidades de investigación del sector de la energía marina:

- *Accelerating Marine Energy. The Potential for Cost Reduction (Acelerando la llegada de la energía marina. El potencial de reducción de costos)* – sugerencias de Carbon Trust Marine Energy Accelerator (Carbon Trust, 2011)
- *Marine Energy Technology Roadmap (Hoja de Ruta para las Tecnologías de Energía Marina - ETI/UKERC, 2010)*
- *Technology Innovation Needs Assessment (Evaluación de las necesidades de innovación en tecnología - TINA)* – Marine Energy Summary Report (Informe Resumido sobre Energía Marina - LCICG, 2012)
- El Informe de Research Prioritisation Steering Group (Grupo Director de Prioridades de Investigación - Forfás, 2011)

Una lección que conviene extraer de la experiencia europea, es que la investigación debe estar alineada con las necesidades de la industria. Mediante la colaboración entre el mundo académico y el sector privado, es posible identificar aquellas necesidades de investigación que ofrecen el mayor potencial de desarrollo. Es importante que todo proceso de priorización de la investigación tome en cuenta la experiencia práctica, además de los estudios publicados.

Recomendación 5-I: Establecer el CEI con el objetivo de liderar proyectos de investigación nacionales estratégicos; crear un plan nacional para las actividades de I+D+i relacionadas con la energía marina

Sería de gran beneficio que el **Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares** de Chile se estableciera de acuerdo a los plazos acordados. El **CEI** podría ser la entidad idónea para desarrollar – conjuntamente con otras agencias pertinentes, tanto nacionales como internacionales– un plan chileno para las actividades de investigación, desarrollo e innovación en energías marinas. Este plan podría ser desarrollado por un comité directivo que cuente con representantes de **Universidades chilenas** y **centros de I+D+i, InnovaCORFO, CONICYT** y las apropiadas organizaciones internacionales. Dicho grupo o comité podría, también, participar en las eventuales reuniones periódicas de revisión de la estrategia nacional de energía marina. (Recomendación 4-P, página 33)

InnovaCORFO / CEI

Urgente

Recomendación 5-J: Realizar conferencias de actividades de I+D+i sobre energías marinas periódicamente; publicar resultados de investigaciones

La comunidad de I+D+i en Chile ya ha celebrado eventos y publicado investigaciones en relación a las energías marinas. Se debería fomentar las conferencias para que se llevaran a cabo en forma regular, así como también, la publicación de resultados con el fin de permitir una mejor coordinación de investigación junto con la diseminación de los resultados.

Comunidad chilena de I+D+i

En desarrollo

Recomendación 5-K: Formalizar vínculos con foros de energía marina existentes (EUOEA/UKERC)

Puede ser beneficioso para los miembros de la comunidad chilena de I+D+i (ej. universidades y centros de investigación aplicada) formalizar vínculos con foros de energía marina existentes, tales como el European Ocean Energy Association (Asociación Europea de Energía Oceánica - EUOEA) o el UK Engineering Research Council (Consejo de Investigación de Ingeniería del Reino Unido - UKERC).

Comunidad chilena de I+D+i

En desarrollo

Recomendación 5-L: Catálogo de desarrollo de capacidades e instalaciones de investigación

La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) debería contemplar la creación de un catálogo que contenga un registro del desarrollo de capacidades e instalaciones de investigación, en colaboración con las Universidades chilenas y los Centros de I+D+i con el fin de darlo a conocer en el mercado internacional.

CONICYT y otros

En desarrollo

6 Infraestructura y cadena de suministro

El tercer pilar del proyecto Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía se refiere a la infraestructura y la cadena de suministro.

Como con todo sector industrial emergente, el desarrollo exitoso y económicamente viable de la industria de energía marina estará intrínsecamente ligado a la disponibilidad y capacidad de la infraestructura necesaria y una adecuada cadena de suministro. Estos factores son tan fundamentales que pueden ralentizar, retrasar o incluso bloquear desarrollos perfectamente viables. A pesar de que la infraestructura y la cadena de suministro son tratadas en conjunto en este capítulo y que existen muchas dependencias mutuas, su relevancia implica que deficiencias en solamente una de ellas puede generar problemas de desarrollo. Cualquier progreso que deba realizarse y éxito logrado debe ser construido sobre la base de una infraestructura sólida y una cadena de suministro potente.

Debido a que el sector de energía marina es una posibilidad futura más que una realidad actual, puede existir incertidumbre respecto de la infraestructura necesaria para soportar las distintas escalas de desarrollo potencial y cómo esta se puede unir a la infraestructura disponible.

Un tema particular para la energía es que las áreas de recursos explotables a menudo se ubican en lugares específicos y muchas veces distantes de áreas industriales o urbanas. Puede que hoy existan en gran medida importantes componentes de la cadena de suministro requeridos para desarrollar proyectos de energía marina, pero deberán ser adaptados a los desafíos y las oportunidades únicas del sector.

Cabe destacar que Chile no necesita "ser dueño" de la tecnología de energía marina para beneficiarse de la actividad que se produce en la cadena de suministro local (aunque tener un papel de liderazgo en el desarrollo de tecnología tendría otros beneficios). Como se observa en el Reino Unido (Aquamarine Power, 2013), una gran parte de la cadena de suministro tiene que estar ubicada localmente, desde las evaluaciones medioambientales hasta los equipos de buceo, y generalmente se hace lógico que la fabricación se produzca localmente, incluso si la tecnología se ha desarrollado en otros lugares.

En el corto plazo, es probable que el foco de la industria de energía marina en Chile esté en el I+D+i, y en proyectos relativamente pequeños en áreas donde ya existe la infraestructura necesaria. Sin embargo, en el mediano y largo plazo se requerirá infraestructura nueva y mejorada, así como un aumento en la capacidad específica de la cadena de suministro.

Este capítulo considera las siguientes áreas clave:

- Red eléctrica - el cableado de transmisión energética y el régimen regulatorio necesarios para transportar energía generada por los proyectos de energía marina hacia el consumidor.
- Infraestructura marítima e industria - los astilleros, puertos y navíos necesarios para construir, instalar y mantener los dispositivos de energía marina.
- Cadena de suministro - la red complementaria (y superpuesta) de servicios, equipos e infraestructura menor necesaria durante el ciclo de vida de los proyectos de energía marina.
- Competencias - las necesidades de capacitación y desarrollo de personas con experiencia y habilidades necesarias para llevar un proyecto al éxito.

6.1 Red eléctrica

El informe *Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno* de la Comisión Nacional de Energía de Chile (CNE & GTZ, 2009) entrega una revisión exhaustiva sobre el desarrollo en el mercado eléctrico chileno, y describe las medidas que se están tomando para acelerar la incorporación de proyectos de energía renovable al sistema eléctrico chileno.

Siendo parte del sector energético, las renovables marinas necesitarán infraestructura eléctrica, tal como:

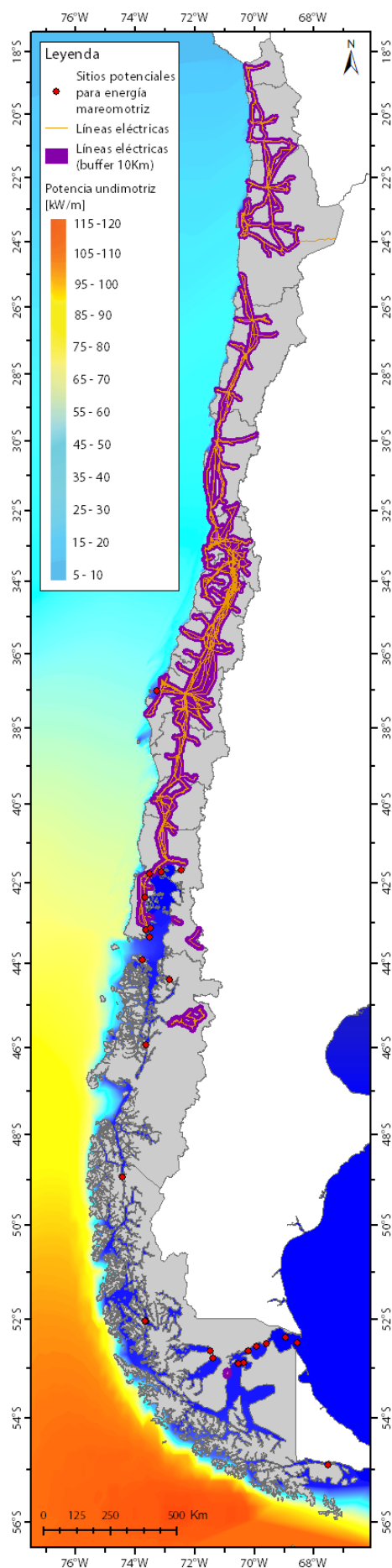
- Conexiones a la red (Cableado submarino)
- Subestaciones
- Red de transmisión (CA y HVDC)
- Conversores CA/CC
- Fuentes de suministro de reserva

En los últimos años se han realizado varios cambios positivos en Chile, ya sea en el mercado eléctrico y en los sistemas regulatorios, para fomentar el desarrollo de energías renovables:

- Actualmente pequeños generadores pueden participar del mercado eléctrico.
- Se implementaron exenciones parciales o totales para los peajes por uso de sistemas de transmisión de proyectos de energía renovable no convencional (ERNC) de menor escala.
- Todas las compañías que venden energía a los usuarios están obligadas a proveer un porcentaje de la energía vendida desde fuentes de ERNC.

Sin embargo, los autores del informe no dan cuenta de trabajos realizados específicamente respecto de redes para la energía marina.

El desarrollo de la capacidad de la red eléctrica es impulsado principalmente por el mercado, por lo que el tipo de planificación a largo plazo que se requiere para el desarrollo de las energías renovables, puede ser más difícil de lograr. Los primeros proyectos pilotos conectados a la red y granjas de energía marina de Chile probablemente sean construidos en áreas con disponibilidad de red eléctrica (ver el mapa de esta página y los mapas regionales del Capítulo 8).



Sin embargo, en el mediano y largo plazo el acceso a capacidades adecuadas en la red será un factor crítico, y requerirá inversión en la infraestructura de la red para alcanzar todo el potencial de energía marina en Chile. Si no se logra establecer planes de desarrollo a largo plazo para la industria y no se dispone de capacidad en la red eléctrica se retrasarán los desarrollos, y los mecanismos de peaje inapropiados podrían afectar la viabilidad comercial de los proyectos.

Estudio de caso 6-A: Limitaciones a la red eléctrica en Escocia

Los largos plazos y altos costos asociados a la conexión de proyectos a la red eléctrica han sido barreras importantes que han impedido que los proyectos renovables del Reino Unido entren en funcionamiento. En la Figura 32 se presenta:

- En azul - La reducción pronosticada en el costo de energía undimotriz (con incertidumbre en azul más claro) . Nótese que el progreso de la reducción de costos indicado por esta curva depende del aumento de las implementaciones de dispositivos acumuladas, que se encuentran actualmente retenidas por la falta de acceso a la red eléctrica (eje X).
- En naranja - el componente de costo nivelado de energía proveniente de arreglos de dispositivos de energía undimotriz, que es estimado como resultado directo de peajes por uso de sistemas de transmisión.

Estos dos puntos demuestran la importancia de tener la seguridad de un acceso adecuado y disponible a la electricidad, y que los costos para utilizar la red eléctrica sean apropiados. También, se muestra en verde dos parámetros relacionados con los mecanismos de apoyo disponibles en el Reino Unido - el precio necesario para contratos por 20 años y un levantamiento de capital apropiado para acelerar el desarrollo del proyecto (en verde claro).

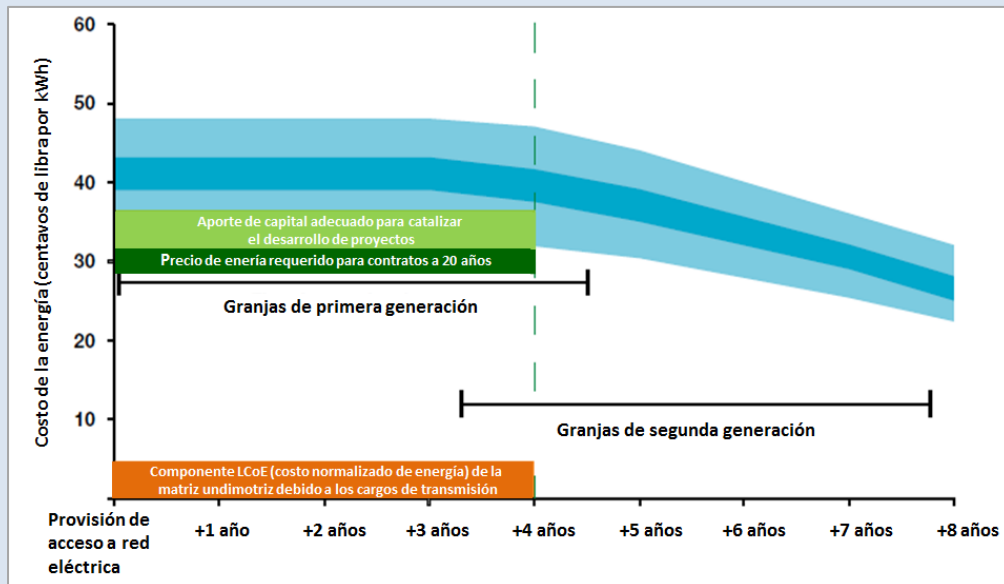


Figura 32: Proyección del costo nivelado de energía undimotriz anticipado en Reino Unido basado en datos recientes (Renewable UK, 2013)

Originalmente, se planearon los arreglos de dispositivos de energía marina conectados a la red eléctrica para el 2015. La decisión de posponer la inversión en la red eléctrica significa un retraso al 2019 o incluso más tarde. La posición de liderazgo de Escocia en las energías marinas se está poniendo en peligro por el escaso acceso adecuado a la red eléctrica, problema al que se enfrentan los desarrolladores de proyectos de energía marina.

6.1.1 Conectividad nacional e internacional

La red eléctrica chilena se compone de cuatro redes separadas con el 99 % de su capacidad instalada de generación ubicada en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC), mientras que el restante 1 % proviene de Aysén y Magallanes. La generación del SING proviene principalmente de plantas de combustible fósil cerca de la costa (ver mapa en la Sección 8.2, página 104) y 90 % de su energía es consumida por la minería. El SIC provee energía al 90% de la población de Chile y la generación se reparte entre fuentes hidroeléctricas y de combustible fósil, con cierta contribución de otras renovables tales como viento y biomasa.

En los mapas de las diferentes regiones de Chile que muestra el Capítulo 8 (página 98) se puede observar que la inexistente conectividad de redes en algunas áreas puede ser una barrera para la integración de fuentes oscilantes de energía renovable. Sin embargo, el Gobierno de Chile pretende conectar el SIC y el SING para el 2018.

6.1.2 Capacidad de red eléctrica

En la mayoría de los países, las redes eléctricas han crecido para conectar grandes centrales eléctricas convencionales a centros poblacionales e industriales. Como resultado, la red se hace fuerte entre dichas centrales pero es mucho más débil en áreas periféricas donde a menudo se encuentran los recursos de energía renovable. Los mapas del Capítulo 8 que especifican las características de cada región de Chile (página 98 en adelante) incluyen detalles de la capacidad de muchas de las líneas de electricidad y subestaciones.

Estudio de caso 6-B: Estudios de redes de electricidad y modelos de conexión y gestión en UK

En el Reino Unido (UK), particularmente en Escocia, gran parte de lo extraíble undimotriz y mareomotriz se ubica en las áreas periféricas, y se comprendió que los largos plazos para expandir la capacidad de transmisión podría prevenir al Reino Unido de cumplir su meta de energías renovables para el 2020 (ver Figura 32). Por esta razón, en 2009 el grupo de trabajo Electricity Networks Strategy Group (ENSG) del Reino Unido publicó un informe (revisado en 2012) que indica las actualizaciones eventualmente necesarias para asegurar que se pueda proveer a la red la suficiente cantidad de energía generada por renovables (Electricity Networks Strategy Group, 2012).

Los largos plazos y altos costos de conexión a la red, también, han sido barreras importantes, que han impedido proyectos renovables del Reino Unido. Por tal razón, el Departamento de Energía y Cambio Climático (DECC) del Reino Unido ha presentado un modelo de "conexión y gestión", que permite a proyectos de generación conectarse al sistema de transmisión antes de completar los las operaciones más extensas de reforzamiento de la transmisión, pero bajo supervisión rigurosa hasta que dichos trabajos sean finalizados.

Chile puede tener una ventaja al compararlo con el Reino Unido respecto de la red, ya que gran parte de la capacidad de generación energética y de los centros poblacionales se encuentra desplegada por toda la costa del Pacífico, cerca de áreas con muchos recursos undimotrices (ver mapas regionales en el Capítulo 8, página 98 en adelante). Además, las dos áreas con importantes recursos de energía mareomotriz en Chile, el Canal de Chacao y el Estrecho de Magallanes, tienen centros poblacionales relativamente cercanos (Puerto Montt y Punta Arenas, respectivamente). No obstante, la realización de un análisis estratégico de los refuerzos de la red eléctrica, que podría ser necesario para integrar los desarrollos de energía marina, puede reducir el riesgo y la incertidumbre.

La red inteligente o "Zonas de energía renovable" permite administrar múltiples generadores renovables que funcionan en una red eléctrica mediante el monitoreo y la supervisión de los flujos

de energía. Esta iniciativa ha demostrado ser extremadamente exitosa en Orkney, Reino Unido y ha permitido exportar más de 20 MW de capacidad adicional desde las islas, las que enfrentaban restricciones de transmisión debido a la sobrecapacidad de la conexión fija. Este tipo de iniciativas puede ser particularmente relevantes para áreas como Magallanes y Aysén, donde normalmente existe menor capacidad disponible en la red eléctrica.

Recomendación 6-A: Estudios de capacidad de la red eléctrica para las energías marinas (operadores de red eléctrica)

Los operadores de la red eléctrica chilena (**CDEC-SIC, CDEC-SING, EDELAYSEN y EDELMAG**) en colaboración con el **Ministerio de Energía** y la **Comisión Nacional de Energía** (CNE) podrían considerar el encargo de un estudio similar al estudio de ENSG (Electricity Networks Strategy Group, 2012) del Reino Unido, donde se contemplan las actualizaciones a la red necesarias para conectar cantidades significativas de energía marina a las redes chilenas.

Operadores de la red electrónica chilena

Corto a mediano plazo

6.1.3 Peajes por el uso de sistemas de transmisión

En el reino Unido, una importante barrera para el desarrollo de energía marina ha sido los altos peajes impuestos por el operador de la red nacional a los generadores del norte y áreas remotas lejanas de los centros de demanda en el sur. El Gobierno de Chile ha establecido exenciones parciales o totales para algunos proyectos de ERNC conectados a partes clave de la red de transmisión, pero en otras áreas han sido cancelados debido a que los costos de transmisión se han considerado inviables.

6.1.4 Estándares de generación eléctrica para dispositivos de generación

Además del hardware de la red inteligente, se requerirá de competencias y conocimientos únicos para la administración de la energía y la red eléctrica debido a la naturaleza de la energía generada (Recomendación 6-B). El diseño de los sistemas eléctricos para conectar los proyectos de energía marina a la red dependerá de la capacidad instalada del emplazamiento, así como de la proximidad y capacidad de la red local. El Centro Europeo de Energía Marina (EMEC) ha desarrollado directrices específicas para el Reino Unido que hacen referencia a las regulaciones, los códigos y las recomendaciones actuales, y entrega directrices específicas para la conexión de proyectos de energía marina a la red nacional (EMEC, 2009).

6.1.5 Conclusiones

Los proyectos de energía renovable pueden sufrir retrasos debido al acceso inadecuado y de alto costo a la red eléctrica. Sin embargo, la planificación gubernamental de largo plazo puede evitar estos problemas.

Los estudios centrados en los requerimientos específicos de la red eléctrica en relación a las industrias de la energía marina, pueden apoyar un proceso más amplio de desarrollo de una red eléctrica, que sea adecuada para las fuentes de energía del futuro.

Recomendación 6-B: Estudios sobre la red eléctrica de la energía marina (CEI)

El futuro **Centro de Excelencia Internacional** podría ser, también, una organización apropiada para investigar los requerimientos de la capacidad de la red eléctrica para la energía marina en Chile. Otros enfoques interesantes son los que se presentan a continuación:

- Reducir la incertidumbre en torno a los requerimientos de la conexión a la red para proyectos de energía marina.
- Revisar la conexión y los peajes por uso de sistemas de transmisión que probablemente enfrentarán los proyectos de energía marina.
- Explorar las oportunidades para garantizar un acceso a la red en forma temprana a los proyectos de energía marina.
- Considerar la posibilidad de integración de proyectos de energías marinas con redes inteligentes en áreas remotas, enlaces HVDC desde áreas de alto recurso a la demanda eléctrica, sistema de bombeo para almacenamiento de agua.
- Revisar cómo se planifican y se financian las actualizaciones a la red eléctrica para los proyectos de energía marina, así como también, hacer recomendaciones para apoyar el desarrollo de este sector.
- Considerar si se requiere revisión de las directrices de conexión de la red existentes para los sistemas de energía undimotriz y mareomotriz. Como referencia se tiene el Guidelines for Grid Connection of Marine Energy Conversion (Guía para la conexión a la red eléctrica de conversión de energía marina - EMEC, 2009).

CEI

Corto a mediano plazo

6.2 Infraestructura marítima e industrial

6.2.1 Introducción

La infraestructura marítima e industrial necesaria para fabricar, instalar y mantener dispositivos de energía marina es similar a la de otras industrias en alta mar e incluye:

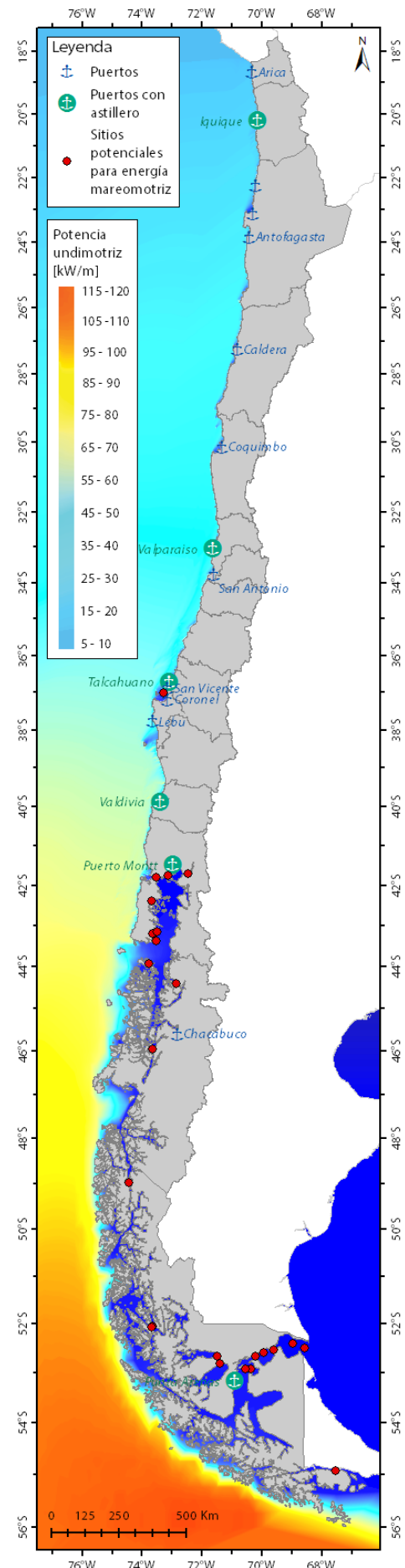
- Puertos (con capacidad de ser base para operaciones y mantenimiento).
- Navíos para instalar y mantener dispositivos.
- Acceso a materia prima.
- Astilleros.
- Equipamiento de elevación y transporte.

Generalmente existen requerimientos específicos para proyectos de energía marina impulsados por el tamaño, el peso y la geometría de los dispositivos y el entorno operativo de alta energía.

Chile tiene una rica tradición marítima y una infraestructura considerable con el potencial de ser utilizada en forma inmediata o convertida para desarrollos de energía marina. El informe de Garrad Hassan "Selección preliminar de sitios - Recursos chilenos para energía marina" de 2009 identifica las mejores ubicaciones para energía undimotriz en la proximidad de puertos clave en las regiones de Valparaíso, Bío Bío y Los Lagos, y con Puerto Montt y Punta Arenas como las bases de soporte evidentes para proyectos mareomotrices de gran escala en el Canal de Chacao y el Estrecho de Magallanes, respectivamente.

El informe *Desarrollo de la energía marina* (E&A/UoE) de 2012 amplía esta idea, considerando los beneficios económicos que podrían resultar de revitalizar áreas cercanas a San Vicente y Coronel, destacando además, la proximidad a la industria acerera de la región de Bío Bío. *Nota: el estudio considera solamente proyectos undimotrices de aguas profundas y no dispositivos cercanos a la costa o terrestres.*

Mientras que las regiones identificadas en estos informes son ciertamente atractivas, la inspección de los mapas muestra que existen oportunidades para el desarrollo de la energía marina en todo Chile. Asimismo, los primeros sitios a desarrollarse en el corto y mediano plazo podrían ser diferentes de los más apropiados para grandes implementaciones de tecnologías maduras en el largo plazo.



6.2.2 Planificación de infraestructura y cadena de suministro

El Ministerio de Energía de Chile está próximo a encargar un estudio que busca analizar los requerimientos de infraestructura, logística y servicios asociados al desarrollo de proyectos de energía marina. Es esencial que las brechas en la provisión y las barreras para el desarrollo sean identificadas a través de este estudio con el fin de ser utilizadas para nutrir los planes estratégicos de desarrollo, y fomenten el desarrollo de las cadenas de suministro locales, regionales y nacionales.

Recomendación 6-C: Planificación de infraestructura y cadena de suministro

Los **gobiernos regionales** junto con la **Dirección de Obras Portuarias** podrían considerar los resultados del estudio planificado sobre infraestructura, logística y servicios para la energía marina para elaborar planes de desarrollo estratégico, y estimular el crecimiento de las cadenas de suministro locales. Este trabajo debiera ser coordinado con la comunidad internacional para intercambiar conocimientos y experiencia en áreas clave.

Gobiernos regionales y DOP

Corto a mediano plazo

Estudio de caso 6-C: Planificación de la Infraestructura de energía marina en Escocia

La industria de energía marina escocesa ha sido beneficiada por la disponibilidad existente de una extensa red de infraestructura marítima (ver Figura 33) navíos de apoyo y fuerza laboral competente, construida entorno a la industria petrolera y gasífera del Mar del Norte. La toma de decisiones temprana resultó en que se estableciera el Centro Europeo de Energía Marina (EMEC) en Orkney, una comunidad marítima con puerto, red de electricidad, navíos de apoyo y experiencia en alta mar. Esto ha significado pocos impedimentos para el desarrollo de prototipos tecnológicos y testeos a escala completa en términos de infraestructura o capacidad de la cadena de suministro. Sin embargo, en la medida que aumenta el nivel de actividades asociadas al testeos de tecnología y la construcción de los primeros sitios de demostración y arreglos de dispositivos a escala comercial, la infraestructura y la cadena de suministro pasan a ser una preocupación clave en Escocia.

El Gobierno de Escocia, a través de sus proveedores de desarrollo económico (Scottish Enterprise (SE) y Highland and Islands Enterprise (HIE)), encargaron un informe para el desarrollo de un Plan Nacional de Infraestructura para las Renovables (N-RIP), que se completó en 2010. El propósito era elaborar una estrategia de inversiones para el desarrollo portuario e infraestructura que complemente y realce la industria de las renovables en Escocia. La motivación para el desarrollo de dicha infraestructura se derivaba del deseo de Escocia por convertirse en la base europea para la construcción y ensamblaje de turbinas de viento y dispositivos marinos.

(Continúa en la siguiente página)

...

Estudio de caso 6-D: Planificación de la Infraestructura de energía marina en Escocia (Cont.)

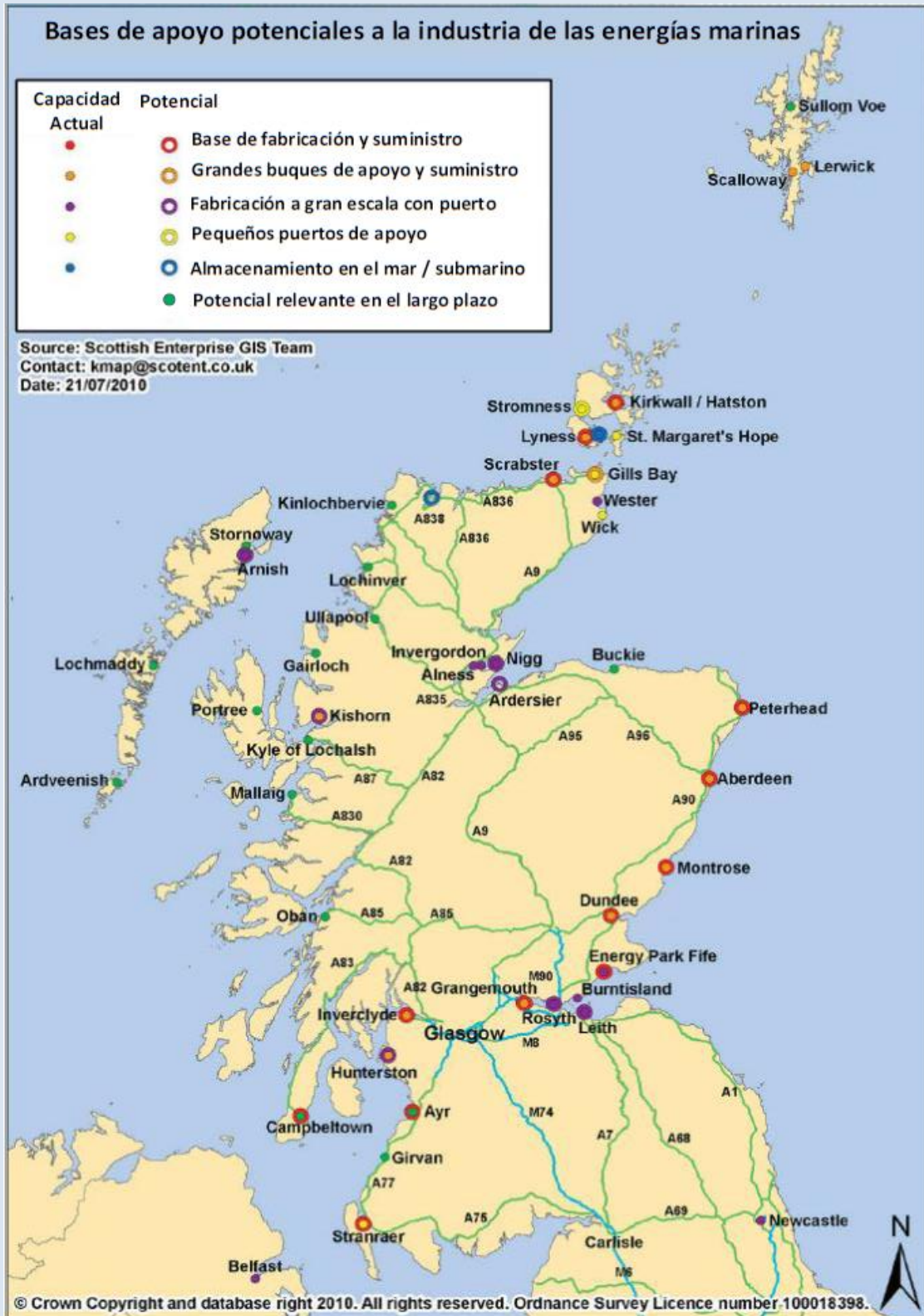


Figura 33: Evaluación de la capacidad de los puertos para respaldar la industria de energía marina (SE/HIE, 2010)

6.2.3 Navíos de apoyo

Un desafío particular para Chile puede ser la disponibilidad de navíos adecuados para efectos de instalación, operación y mantenimiento. En algunos casos, las implementaciones de energía marina en el norte de Europa han sido facilitadas por la disponibilidad de navíos de la industria petrolera y gasífera (ver Figura 34) los que fueron utilizados (a un costo relativamente alto) para muchas de las primeras implementaciones de energía marina.



Figura 34: Embarcaciones con posicionamiento dinámico desplegadas en el sitio de pruebas de EMEC para instalar turbinas mareomotrices y estructuras de soporte

No obstante, muchos desarrolladores de tecnología se encuentran desarrollando equipos y procedimientos para reducir el costo de instalación mediante el uso de navíos estándares. A modo de ejemplo, en 2009 Aquamarine Power instaló el dispositivo Oyster 1 mediante una plataforma autoelevable y una cabria, mientras que en 2011 el dispositivo Oyster 800 fue instalado sin utilizar una plataforma de carga pesada al lastrarla sobre sus cimientos (ver Figura 35).

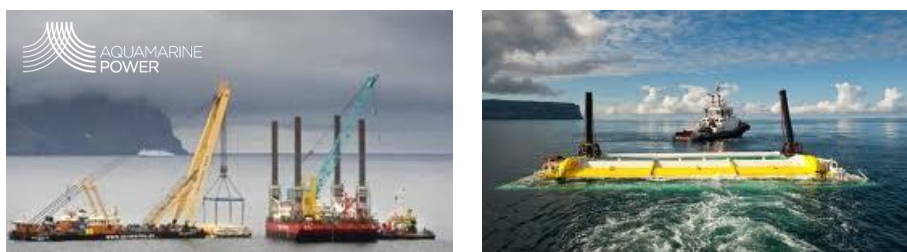


Figura 35: Plataforma con cabria atracada y plataforma autoelevable de perforación desplegadas durante la instalación del Oyster 1 de Aquamarine Power en 2009 (izq.) y remolcador desplegado durante la instalación de autolastrado del Oyster 800 en 2011 (der.)

Otros ejemplos incluyen Pelamis, que es capaz de desplegar y recoger su dispositivo flotante de energía undimotriz mediante una sola embarcación de trabajo multiuso y OpenHydro, que ha utilizado la misma barcaza adaptada para instalar versiones de sus turbinas mareomotrices. (Figura 36).



Figura 36: Embarcaciones de trabajo multiuso en Orkney (izq.) e instalación de OpenHydro (der.)

La Figura 37 demuestra la alta consistencia del régimen de olas en Chile comparado con otros sitios. Si bien esto implica un alto potencial para la generación de energía, también, es mayor el desafío de llevar a cabo operaciones marítimas en aguas chilenas, ya que no existe oportunidad de realizar las actividades de instalación o mantenimiento durante un periodo de consistencia de oleaje reducido (como sí se ve en el caso de Orkney).

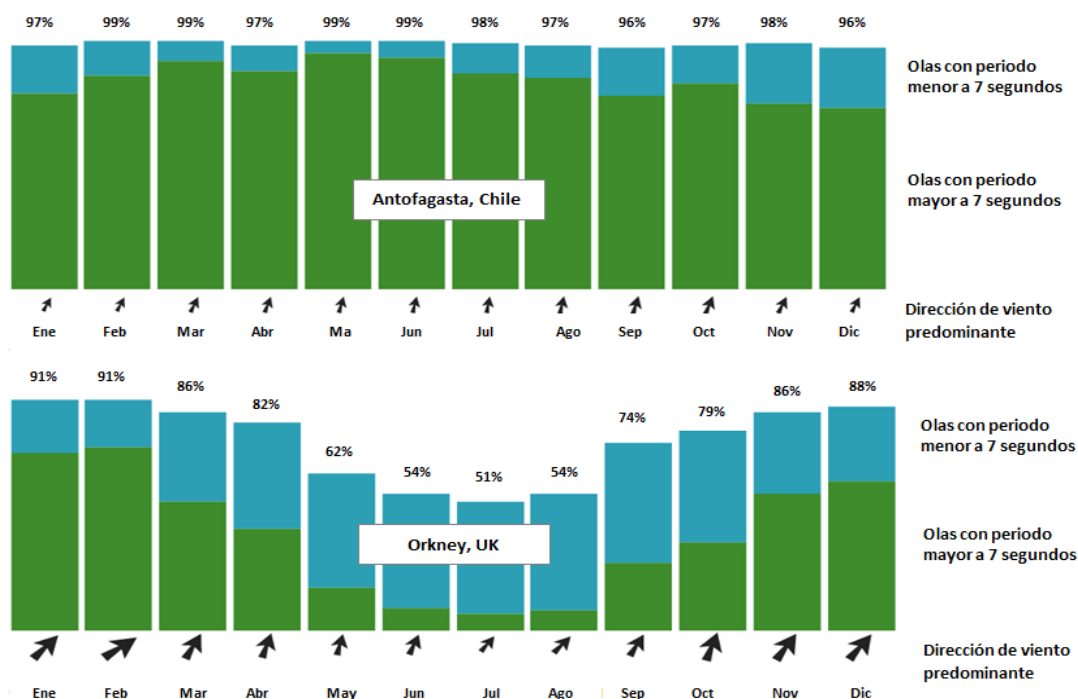


Figura 37: Comparativo de consistencia¹² de marejada entre Antofagasta, Chile (arriba) y Orkney, Reino Unido (abajo)

Recomendación 6-D: Desarrollo de servicios marinos

Los proveedores de navíos y servicios marinos deberían utilizar los resultados del estudio sobre servicios, logística e infraestructura para tener en consideración la evaluación de los equipos y métodos que se requerirán para los desarrollos de energía marina en Chile con el fin de informar sus estrategias en el sector.

Proveedores de navíos y servicios marinos

Corto a mediano plazo

6.2.4 Señalización marítima y navegación

El Servicio de Señalización Marítima de Chile controla y desarrolla los sistemas nacionales de apoyo a la navegación. Este servicio es parte de DIRECTEMAR, de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile. La Armada de Chile ha indicado que la señalización de proyectos de energía marina se realizaría utilizando la normativa existente para obstáculos de navegación y la designación de áreas especiales, tal como las salmoneras (Chilean Navy, 2012).

¹² Consistencia en este caso se refiere al porcentaje del tiempo en que la altura significativa de las olas es de 1m o más. Fuente: (MSW, 2013)

6.3 Cadena de suministro

Es necesario contar con una red de servicios, equipos e infraestructura menor para dos conjuntos de necesidades claramente distintas, el desarrollo de la tecnología y el desarrollo de los proyectos.

6.3.1 Desarrollo de la tecnología

En los últimos años ha habido un cambio en el sector de energía marina con la utilización de Technology Readiness Levels (TRLs), un sistema estandarizado para definir el nivel de madurez tecnológico. El Departamento de Energía (DOE) de EEUU utiliza las siguientes directrices.

Tabla 9: Nivel de madurez de tecnología (TRLs), basado en DOE

Nivel	Descripción
TRL 1	Se inicia la traducción de la investigación científica a la investigación aplicada y el desarrollo: Nivel más bajo de madurez tecnológica. Las investigaciones científicas comienzan a ser traducidas a la investigación aplicada y el desarrollo. P.e. estudios o informes sobre propiedades básicas.
TRL 2	Comienza la invención: Una vez que se han observado los principios básicos, se pueden inventar aplicaciones prácticas. Las aplicaciones son especulativas y puede no haber pruebas o análisis detallados que soporten las hipótesis. Los ejemplos se limitan a estudios analíticos.
TRL 3	Se inicia la investigación activa y el desarrollo: Incluye estudios analíticos y de laboratorio para validar empíricamente predicciones analíticas de elementos de la tecnología por separado, por ejemplo, componentes aún no integrados o representados.
TRL 4	Se integran componentes tecnológicos básicos: Se integran componentes tecnológicos básicos para establecer si las piezas funcionan en conjunto.
TRL 5	La fidelidad de la tecnología experimental mejora significativamente: Los componentes tecnológicos básicos son integrados con elementos secundarios razonablemente realistas, de forma que puedan ser probados en un entorno simulado. A modo de ejemplo, se encuentra la integración de componentes de "alta fidelidad" en laboratorio.
TRL 6	Prueba de modelos/prototipos en un entorno relevante: Se prueba un modelo representativo o sistema prototipo, mucho más avanzado que en TRL 5, en un entorno relevante. Representa un nivel superior en la madurez probada de una tecnología. A modo de ejemplo, se desarrollan pruebas con un prototipo en un entorno de laboratorio de alta fidelidad o un entorno operativo simulado. <i>(Continúa en la siguiente página)</i>
Nivel	Descripción
TRL 7	Prototipo a un paso de o en el sistema operativo planificado: Representa un nivel superior al TRL 6 y requiere una demostración de un sistema prototipo en un entorno operativo.
TRL 8	Se comprueba la funcionalidad de la tecnología: Se completa la tecnología y se comprueba mediante pruebas y demostraciones.
TRL 9	Aplicación real de la tecnología en su forma final: Se comprueba la tecnología mediante operaciones exitosas.

Los requerimientos de la cadena de suministros en cada una de estas etapas de desarrollo de tecnología tienen diferentes características. Si bien, los requerimientos en general aumentan a medida que la tecnología se va desarrollando, existen etapas específicas, tales como pruebas en canal de olas (TRL 4) o pruebas de alta capacidad de componentes (TRL 5), en donde estos requerimientos pueden ser más difícil de cumplir que etapas posteriores. Ejemplos de las necesidades de la cadena de suministro en las diferentes etapas del desarrollo tecnológico se indican en la Tabla 10.

Tabla 10: Ejemplo de requerimientos de cadena de suministro en etapas de desarrollo tecnológico

Cadena de suministro de desarrollo tecnológico en energía marina									
Fase de nivel de madurez de tecnología (TLR)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Necesidades clave de la cadena de suministro									
Etapa	Documentación	Modelado en laboratorio	Prueba en laboratorio húmedo - componentes	Pruebas de modelo básicas	Laboratorio de pruebas de alta capacidad	Sitios de prueba en el mar	Demostraciones en el mar a escala real para proyecto comercial		
Instalaciones	Oficina	Oficina Laboratorio	Oficina Laboratorio	Oficina y Lab. Canal de olas o mareas	Oficina y Lab. Canal de olas o mareas, o pruebas controlados	Oficina y Lab. Astillero, sitio de pruebas, embarcaciones de apoyo	Ver Figura 38 - requerimientos de la cadena de suministro de desarrollo de proyectos		
Capacidades	Investigación científica	Diseño básico o análisis	Diseño avanzado y análisis	Construcción de modelo, pruebas y análisis	Diseño de ingeniería y manufactura; pruebas y análisis	Ingeniería y manufactura; pruebas y análisis; operaciones marinas			

6.3.2 Desarrollo de proyectos

El desarrollo de proyectos requiere que la tecnología haya sido desarrollada con éxito o que se lleve a cabo un proceso de desarrollo tecnológico paralelo. Por tanto, el desarrollo de proyectos corresponde a los niveles 8 y 9 (y hasta cierto punto, al nivel 7) de la secuencia de actividades TRL (nivel de madurez tecnológica), pero tiene un alcance mucho más amplio. A continuación en la Figura 38 se detallan los tipos de actividades involucradas en el desarrollo de proyectos.

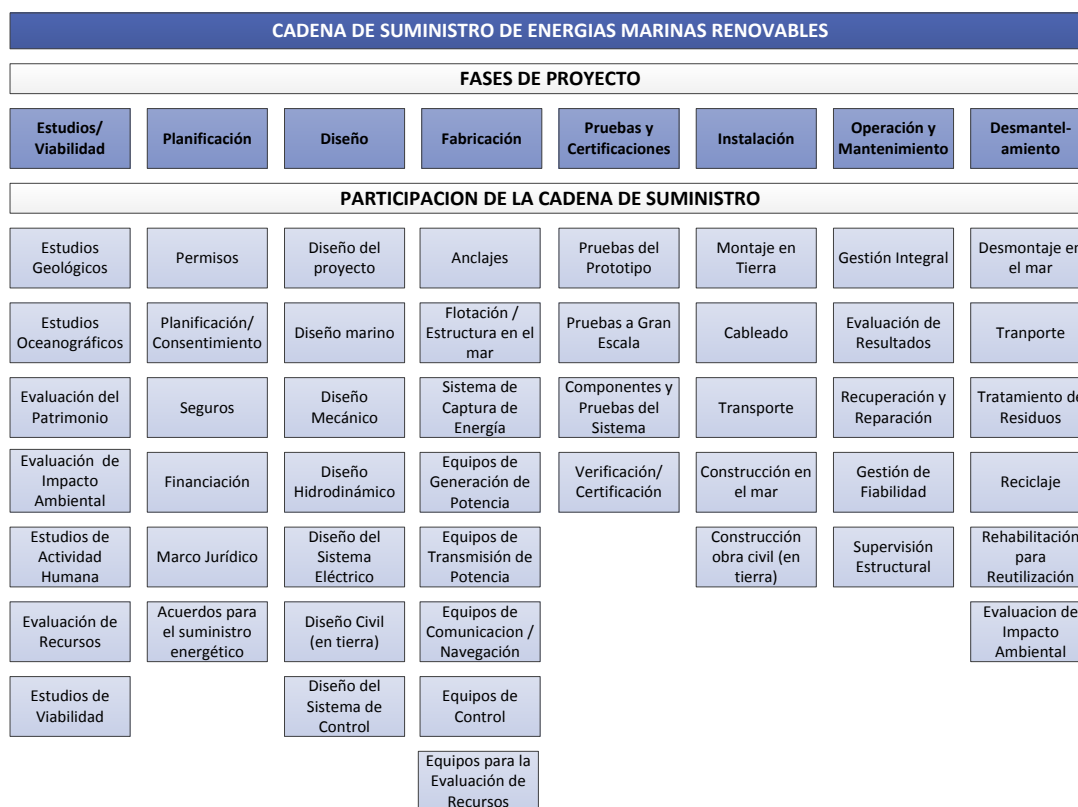


Figura 38: Requerimientos de la cadena de suministro para el desarrollo de proyectos

6.3.3 Comercio y organizaciones de apoyo

Las asociaciones de energía renovable y de energía marina, además de los organismos de comercio, pueden tener un papel influyente en relación al apoyo al desarrollo de la industria, así como, en la difusión de conocimientos del sector. En Chile ya existen organizaciones de tal alcance.

Estudio de caso 6-E: Comercio y organizaciones de apoyo en el Reino Unido

Junto al crecimiento de las renovables en el Reino Unido, en los últimos 15 a 20 años, se han establecido una cantidad de organizaciones de comercio y de representación. Dichas organizaciones se especializan en representar a la industria ante gobiernos y legisladores. También, promueven a la industria mediante conferencias y otros eventos mediáticos. Son importantes canalizadores de la información y su afiliación conjunta puede ser utilizada como instrumento para hacer presión a favor de la industria. Existe una variedad de organizaciones de este tipo y a continuación se describen algunos ejemplos del área de las renovables marinas:

Renewable UK: Es la organización de comercio más grande en el Reino Unido, con amplio apoyo y grandes recursos. Realizan una cantidad de eventos en el año que cuentan con amplia asistencia, especialmente su conferencia anual (5.000 delegados, 300 expositores y 150 ponentes).

Scottish Renewables: Scottish Renewables es una organización miembro que cubre áreas similares a Renewables UK, pero con el foco en Escocia. Su sitio web da la siguiente descripción, "SR se dedica a fortalecer las relaciones comerciales y está comprometida a asegurar el mejor entorno posible para el crecimiento de las renovables en Escocia".

También, existen organismos regionales tales como Orkney Renewable Energy Forum (OREF), Shetland renewable forum (SRF), Northern Ireland Renewable Industry (NIRIG) en Irlanda del Norte, y otros con foco en los temas que afectan a las áreas locales.

Recomendación 6-E: Realizar eventos relacionados con la industria en forma regular; fortalecer los organismos de comercio y asociaciones de energías, y expandir estas entidades a nivel regional.

Las asociaciones de renovables y energía marina renovable y los **organismos de comercio** que actualmente operan en Santiago, podrían alentar la creación de sucursales regionales y locales, a lo menos en las regiones donde existe mayor actividad o potencial de energía marina. Eventos tales como talleres o exhibiciones anuales de energía undimotriz y mareomotriz pueden promover el sector de la energía marina.

Estas organizaciones pueden encontrarse en un lugar de privilegio para estimular el desarrollo de la cadena de suministro, y deberían tener como propósito establecer vínculos con sus homólogos internacionales con el fin de beneficiarse de la experiencia, fortalecer el comercio internacional y fomentar colaboración, entre otros.

Organizaciones de apoyo y de comercio

En desarrollo

6.4 Competencias

La capacitación y desarrollo de fuerza laboral con la experiencia necesaria y las capacidades para llevar los proyectos de energía marina al éxito son comprendidos como factores esenciales en el desarrollo de las energías marinas. Esta sección contempla algunas iniciativas de capacitación en energías marinas y su potencial aplicación a Chile.

Estudio de caso 6-F: Desarrollo de la cadena de suministro para energía marina en el Reino Unido

Uno de los desafíos clave identificados en el informe de energía marina en el Reino Unido sobre el estado de la industria 2012 *Marine Energy in the UK: State of the Industry Report 2012* (*La energía marina en el Reino Unido: Informe del estado de la industria en el año 2012*) de Renewable UK fue "desarrollar una cadena de suministro en el Reino Unido con las competencias y capacidades necesarias para permitir un rápido crecimiento en el sector y aprovechar los beneficios socioeconómicos de la industria a largo plazo".

Las cifras más actualizadas sugieren que existe sobre 800 puestos de trabajo de tiempo completo en el sector de energía undimotriz y mareomotriz del Reino Unido. El siguiente gráfico circular (ver Figura 39) presenta un desglose por subsector. Estimaciones futuras sitúan en 7.000 los trabajos directos (FREDS/MEG, 2004) que podrían ser creados por la industria de energía marina de Escocia relacionados a la implementación de 1,3 GW.

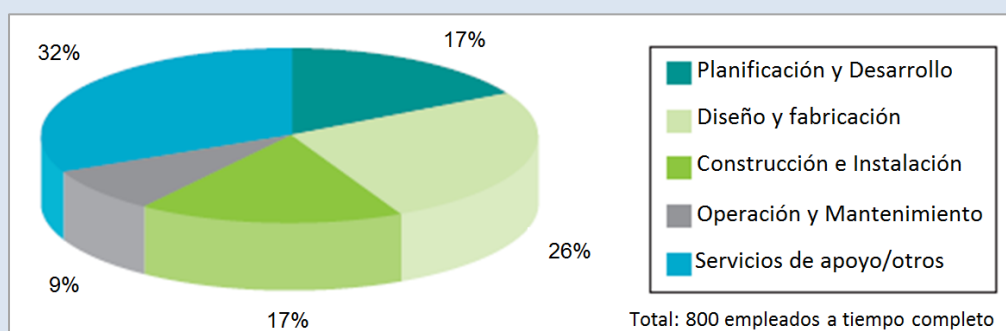


Figura 39: Empleos directos en energía marina en el Reino Unido (2010) (Renewable UK, 2011)

(Nota: FTE = Empleado tiempo completo)

El informe *Employment and Skills in the UK Wind & Marine Industries* (*Empleo y competencias en las industrias eólica y marina en Reino Unido*) (2011) de Renewable UK indicó que el 37% de las empresas del sector undimotriz y mareomotriz han sufrido dificultades para llenar vacantes durante los últimos 12 meses. Estas vacantes en el sector de energía undimotriz y mareomotriz requerían de competencias especiales, tales como, modelamiento hidrodinámico, ingeniería mecánica aerodinámica, medición hidrográfica, consultoría ambiental, diseño submarino, ornitología y ecología. Estas competencias pueden ser transferidas desde otras industrias pero a menudo se debe incentivar a los empleados para que cambien de industria. Es probable que Chile enfrente desafíos similares una vez que aumenten las actividades en energía marina.

Recomendación 6-F: Identificación y resolución de deficiencias de competencias requeridas para sector energía marina

El **Ministerio de Energía** podría identificar las áreas donde se requiere capacitación para la cadena de suministro y, asimismo, trabajar en colaboración con **Chile Valora** (comité de certificación de competencias laborales), el **Ministerio de Educación** y el **Ministerio del Trabajo** para que incluyan dichas capacitaciones en sus programas. Los resultados del estudio sobre infraestructura, logística y servicios para la energía marina podrían apoyar este plan.

Varios

Mediano plazo

Estudio de caso 6-G: Cursos académicos de energía marina en el Reino Unido

En los últimos años, una cantidad de instituciones ha comenzado a ofrecer cursos orientados específicamente a las renovables marinas/en alta mar. Se mencionan a continuación:

Tabla 11: Instituciones en el Reino Unido que ofrecen curso en energía marina/en alta mar

Institución	Escuela/Facultad	Curso/Ramo
Universidad Heriot-Watt	Ingeniería Petrolera	Energía Marina Renovable
Universidad de Strathclyde	Arquitectura Naval e Ingeniería Marina	Ingeniería Sustentable (Energía Renovable en Alta Mar)
Universidad Robert Gordon	Facultad de Ingeniería	Renovables en Alta Mar, Magister
Universidad de Exeter	Energía Renovable	Energía Renovable en Alta Mar
Universidad Cranfield	Facultad de Ciencias Aplicadas	Tecnología Oceánica y en Alta Mar con estudios en Energía Renovable en Alta Mar
Universidad Plymouth	Facultad de Ciencias e Ingeniería Marinas	Energía Marina Renovable
Universidad de Leeds	Facultad de Electrónica e Ingeniería Eléctrica	Ingeniería Eléctrica y Sistemas de Energía Renovable
Universidad de Edimburgo	Facultad de Ingeniería	Energía Marina

Recomendación 6-G: Plan de formación en energías renovables (cursos y capacitación)

Las universidades chilenas podrían considerar establecer relaciones con instituciones que dictan cursos relacionados a la energía marina, con el fin de implementar cursos similares en Chile. CONICYT debería contemplar tales cursos en el programa de becas. Tales iniciativas, también, deberían ser parte de un programa de apoyo más amplio para capacitar a chilenos en otras industrias de energías renovables emergentes. La consolidación entre la industria y las instituciones académicas, también, ayudarán a identificar y abordar deficiencias específicas.

Universidades chilenas / CONICYT

Corto plazo

Estudio de caso 6-H: Capacitación para empleados que trabajan con tecnología de bajas emisiones de carbono en Escocia

En 2010, el Gobierno de Escocia anunció su iniciativa de apoyar a los empleadores que deseen desarrollar las competencias de sus empleados en tecnologías de baja emisión de carbono. Las 650 vacantes serán entregadas a través de Skill Development Scotland y son financiadas con el apoyo del Fondo Social Europeo. El fondo permitirá a los empleadores capacitar a sus empleados en tecnologías de baja emisión de carbono como parte del impulso del Gobierno de Escocia por maximizar los beneficios económicos de los negocios verdes.

Estudio de caso 6-I: Iniciativas para capacitaciones en energía marina en la Unión Europea

En los últimos años se han implementados varias iniciativas de capacitación financiadas por la Unión Europea para afrontar escasez de competencias, en las que se incluyen las siguientes:

- WAVETRAIN - Redes de Formación e Investigación Marie-Curie. El proyecto consistió en un total de 383 meses de investigador contratados desde fuera del país de cada institución anfitriona y una gran cantidad de eventos de capacitación por toda la red con algunas pruebas reales en el mar. El principal resultado del proyecto fue la capacitación de 15 científicos jóvenes en el campo de energía undimotriz.
- AquaRET - Capacitación Vocacional en Tecnologías de Energía Marina Renovable. Un proyecto de la Unión Europea financiado por la Agencia Nacional de Irlanda bajo el Programa de Aprendizaje Permanente (Leonardo da Vinci - Transferencia de innovación). La principal finalidad fue desarrollar sesiones de educación a distancia en línea sobre tecnologías de energía renovable acuática con el fin de informar al público en general y estimular a empresas a la industria de energía renovable acuática.
- En el Reino Unido, el Consejo de Investigación en Ciencias Físicas e Ingeniería fundó SuperGen Marine Energy Consortium para impulsar la investigación de energía marina en forma colaborativa. Un aspecto importante del programa de investigación marina de SuperGen es la inclusión de doctorados y cursos de capacitación.

6.5 Conclusiones – Infraestructura y cadena de suministro.

Los sectores de energía undimotriz y mareomotriz son nuevos y constan de características particulares. Si bien puede haber sinergias con actividades existentes tal como se señaló anteriormente, estos nuevos sectores energéticos, también, requerirán apoyo de especialistas y dedicación exclusiva de acuerdo al tamaño y etapa en que se encuentre el mercado.

La experiencia ha demostrado que las empresas existentes expandirán sus actividades para aprovechar las oportunidades en energía marina. De hecho, ya existe un número reducido de compañías establecidas que se especializan en energía marina. El trabajo de consultoría puede ser de nivel global, pero los servicios técnicos o marinos son en su mayoría locales o regionales por el momento.

Frecuentemente, en sectores exitosos, las empresas de apoyo invierten montos similares en sus futuros clientes (por ejemplo, los desarrolladores de proyectos), anticipando el crecimiento de la industria. Tales inversiones no se realizarán a menos que la cadena de suministro tenga confianza que el mercado será perdurable para el producto o servicio. La inmadurez del sector de la energía marina y el estado financiero de muchos de los desarrolladores tecnológicos pueden crear un riesgo para la emergente cadena de suministro. Para que el sector comience a generar una masa crítica que soporte la cadena de suministro necesaria para ser eficiente, probablemente requiera implementar diez dispositivos por año.

7 Financiamiento

El financiamiento es un tema de suma importancia para la industria de energía marina. Las tecnologías necesarias para el desarrollo de la energía undimotriz y mareomotriz están en las etapas iniciales de desarrollo y, actualmente, el costo de generación de estas fuentes de energía - conocido como costo nivelado de energía (levelised cost of electricity, LCOE) - es mayor que otros medios de generación energética. Sin embargo, no es fácil sacar conclusiones generales a partir de esto, debido a la variedad de influencias en los costos e ingresos que afectan a los proyectos de energía marina, y la naturaleza de los mercados que necesitan de energía renovable a partir del suministro de energía marina.

7.1 Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía marina

En las siguientes tablas se indican algunas de las variables financieras básicas a considerar, junto con algunos comentarios acerca de sus características. Estas se presentan de manera separada para los sectores undimotriz y mareomotriz debido a las notables diferencias entre ambos.

Tabla 12: Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía undimotriz

Factor	Descripción	Rango o variabilidad
Nivel de recurso	La energía entregada por las olas en un punto particular.	En Chile, el promedio anual de la altura de la ola varía de 20 kWm en Arica a más de 110 kWm en Magallanes (Baird & Associates, 2012)
Cantidad del recurso	La escala o área de un recurso determinado que representa efectivamente la longitud de costa y las extensiones de lecho marino con una profundidad adecuada.	En algunas áreas irregulares y de pendientes pronunciadas puede que se encuentren áreas apropiadas o suficiente espacio para colocar un grupo de dispositivos generadores de energía undimotriz. En otras zonas puede haber una extensión de 20 o 30 kilómetros de lecho marino adecuado para la instalación de varias filas de dispositivos. Con niveles de extracción de energía de 5 a 10% por fila de dispositivos, se asume que 3 filas conforman el límite comercial, proporcionando un mejora en la capacidad de casi tres veces del nivel de energía undimotriz incidental.
Disponibilidad del recurso	El patrón con el cual la energía undimotriz llega a un punto determinado.	Un nivel de oleaje constante entrega mayor producción (factores de planta más altos) y Chile posee uno de los regímenes de oleaje más constantes del mundo (Monárdez, et al., 2008). Los factores de planta en Chile deben ser de alrededor de un 50% en comparación al 30% de Europa. Sin embargo, los períodos con condiciones de oleaje más calmas pueden servir para acceder, instalar, retirar o reubicar dispositivos, lo que también, puede significar un beneficio en términos de costo.
Costo de inversión	La suma de dinero invertido en el desarrollo de tecnología que debe ser recuperado por medio de la venta de tecnología o ingresos de operación	Algunas empresas de tecnología undimotriz ya han invertido cerca de USD 100 millones en la región para desarrollar y probar prototipos a escala de MW, y es posible que sea necesario invertir entre USD 150 y 200 millones más, antes de entregar las primeras máquinas de producción en una cantidad significativa. <i>(Continúa en la siguiente página)</i>

		<p>Algunos de los nuevos participantes del mercado han logrado desarrollar y probar dispositivos con calificaciones similares por sumas bastante más bajas (entre USD 10 y 40 millones), aunque aún no se ha comparado su desempeño con el de los participantes preexistentes.</p> <p>Algunas empresas que desarrollan tecnologías modulares para extracción de energía undimotriz pueden desarrollar modelos de producción a un menor costo, pero su capacidad está a escala de kW en vez de MW.</p> <p>Muchas de estas tecnologías han sido apoyadas mediante subvenciones y en algunos casos por ventas directas de modelos tecnológicos iniciales presentados a modo de demostración. Los niveles residuales de inversión que aún faltan por pagar con las ventas a futuro pueden ir desde cientos de miles hasta varios millones de dólares. La recuperación de estos costos con los primeros 100 dispositivos producidos, por ejemplo, puede agregar miles o cientos de miles de dólares al costo individual por dispositivo.</p>
Costo de capital en tecnología (CAPEX)	Los costos iniciales de fabricación e instalación de uno o varios dispositivos (arreglos).	<p>Existe el potencial de que los dispositivos (o al menos sus estructuras) se fabriquen en Chile a un costo más bajo, independientemente que las tecnologías fueran desarrolladas en Chile o no.</p> <p>La instalación de los dispositivos para extraer energía undimotriz podría ser más costosa en Chile si se necesitan embarcaciones especializadas (ya que el costo de contar con estas embarcaciones puede ser más alto que en Europa o Estados Unidos). Las condiciones medioambientales (oleaje o pendiente del lecho marino) pueden ser más complejas y, por lo tanto, más costosas, pero los precios de embarcaciones en general y los costos de personal son más bajos.</p>
Gastos operacionales en tecnología (OPEX)	El costo permanente de operar y realizar mantenimiento a uno o a un arreglo de dispositivos.	La operación y el mantenimiento pueden ser más complejos debido a la alta consistencia del régimen de olas, sin embargo, los costos de personal son más bajos.
Costos de desarrollo del proyecto	Los costos iniciales para identificar un lugar, obtener permiso para desarrollarlo, asegurar su conexión al mercado (red eléctrica o uso directo) y generar un contrato para la energía producida.	<p>Existe escasa experiencia en el desarrollo de sitios para proyectos de energía marina en Chile. Sin embargo, es probable que los requerimientos legales en Chile sean menos demandantes que en muchos países europeos, donde las directivas y la legislación de la UE pueden hacer que el proceso sea más complejo.</p> <p>El recurso de oleaje está distribuido por toda la costa de Chile, por lo que no debería presentar una gran dificultad encontrar sitios adecuados, ya que existen muchas áreas interesantes.</p>
Valor de la trayectoria anterior	El valor asociado a la experiencia ganada para proyectos a futuro.	Muy alta para la energía undimotriz en Chile, ya que su potencial de desarrollo es muy grande.

Tabla 13: Factores determinantes en la viabilidad financiera de la energía mareomotriz

Factor	Descripción	Rango o variabilidad
Nivel de recurso	La energía entregada por las mareas en un punto particular	1,5 m/s (equivalente a 3 nudos) es considerado el nivel mínimo atractivo de flujo de marea para la producción comercial de energía, aunque algunos diseños (como los volantines submarinos) podrían generar en condiciones de menos energía. Las máximas corrientes de mareas en el canal de Chacao y en el estrecho de Magallanes pueden alcanzar 4 m/s (8 nudos) lo que los hace un recurso muy atractivo.
Cantidad del recurso	La escala o área de un recurso determinado que representa efectivamente la profundidad, ancho y longitud del canal de marea.	La energía mareomotriz, por su naturaleza, se limita a canales específicos y a otros tipos de constricciones de flujo (islas o cabos). Existe una cantidad limitada de sitios adecuados en Chile, pero en el canal de Chacao y en el estrecho de Magallanes en particular, hay varios sitios con potencial significativo.
Disponibilidad del recurso	El patrón con el cual la energía mareomotriz fluctúa.	No existe evidencia para sugerir que los emplazamientos mareomotrices en Chile tengan características de flujo muy diferentes a otros lugares del mundo. La energía mareomotriz es altamente predecible, pero se reduce a cero en ciertas horas durante el día (típicamente cuatro veces al día), a medida que la dirección de la corriente se revierte.
Costo de inversión	La suma de dinero invertida en el desarrollo de tecnología que debe ser recuperada por medio de la venta de tecnología o ingresos de operación	<p>Igual que la industria de energía undimotriz, hay varias empresas de tecnología mareomotriz que han invertido en la región cerca de USD 100 millones en el desarrollo y pruebas con dispositivos a escala MW. Estas tecnologías de energía mareomotriz están más cerca de la comercialización que las de energía undimotriz.</p> <p>Por otra parte, algunos desarrolladores de dispositivos de segunda generación han alcanzado niveles comparables de avance tecnológico, particularmente los desarrolladores de dispositivos de escala pequeña, con una inversión bastante menor.</p> <p>Los niveles residuales de inversión que quedan por pagar con las ventas a futuro, igual que en la energía undimotriz, pueden ir desde cientos de miles hasta varios millones de dólares. La recuperación de estos costos con los primeros 100 aparatos producidos, por ejemplo, puede agregar miles o cientos de miles de dólares al costo individual por dispositivo.</p> <p><i>(Continúa en la siguiente página)</i></p>

<p>Costo de capital en tecnología (CAPEX)</p>	<p>Los costos iniciales de fabricación e instalación de uno o varios dispositivos (arreglos)</p>	<p>La tecnología mareomotriz es más avanzada hoy en día que la undimotriz y, por lo tanto, es difícil que Chile juegue un papel activo en el desarrollo de tecnología. Las estructuras y/o cimientos de los dispositivos, sin embargo, podrían manufacturarse en Chile a un costo más bajo que en cualquier otro lugar.</p>
<p>Gastos operacionales en tecnología (OPEX)</p>	<p>El costo permanente de operar y realizar mantenimiento a uno o a un arreglo de dispositivos.</p>	<p>Los costos de operación pueden ser menores en Chile, ya que muchos de los sitios de corrientes de mareas son adecuados por su naturaleza (poco oleaje y poca presencia de hielo y desechos). Si se asume que el uso de grandes buques en alta mar puede ser minimizado, los costos de transporte marítimo y mano de obra, también, serían más bajos.</p>
<p>Costos de desarrollo de proyecto</p>	<p>Los costos iniciales para identificar un lugar, obtener permiso para desarrollarlo, asegurar su conexión al mercado (red eléctrica o uso directo) y generar un contrato para la energía producida.</p>	<p>Existe una cantidad pequeña de sitios de corrientes de mareas en Chile, y prácticamente todos ellos están en Los Lagos, Aysén y Magallanes. Esta cantidad limitada de sitios y el gran énfasis que existe sobre la protección de las condiciones medioambientales en la zona pueden aumentar los costos del desarrollo de proyectos.</p> <p>En Aysén y Magallanes, los operadores de la red eléctrica local no poseen los mismos objetivos de producción u obligaciones de agregar generadores de energías renovables que existen en el SIC o el SING.</p>
<p>Valor de la trayectoria anterior</p>	<p>El valor asociado a la experiencia ganada para proyectos a futuro.</p>	<p>Moderado para la energía mareomotriz debido a la escasez de sitios adecuados.</p>

Tabla 14: Consideraciones de una tecnología neutral

Factor	Descripción	Rango o variabilidad
Ingresos	La cantidad de dinero que se puede generar por la energía suministrada por dispositivos undimotrices o mareomotrices.	No existen subsidios por generación. Estas energías deben competir con otras formas de ERNC. El precio de la electricidad en Chile es alto, particularmente en áreas aisladas que dependen de la generación por diésel.
Impuestos	Carga tributaria	<p><u>Nacional</u></p> <p>Las entidades residentes o con domicilio en Chile pagan impuestos según sus ingresos globales (hay excepciones donde se aplican los acuerdos de doble tributación, y Chile ha firmado muchos de estos acuerdos).</p> <p>Impuesto a las personas: Progresivo de 0% a 40%</p> <p>Impuesto a las empresas: 17% (“Impuesto de primera categoría”)</p> <p>Impuesto al valor agregado: 19%.</p> <p><u>Internacional</u></p> <p>Servicios generales sujetos a un impuesto adicional de 35%.</p> <p>Servicios técnicos y de ingeniería tributados a una tasa de 15% de retención fiscal (20% para entidades asociadas).</p> <p>Existen varios acuerdos de doble tributación.</p>

Fuente: (PWC, 2008)

7.2 Mercados para la energía undimotriz y mareomotriz en Chile

Esta sección presenta una evaluación de los diferentes mercados que existen para la energía undimotriz y mareomotriz en Chile:

- Grandes redes eléctricas (SIC y SING)
- Redes eléctricas de tamaño mediano (Aysén y Magallanes)
- Proyectos sin conexión a las redes

7.2.1 Grandes redes eléctricas (SIC y SING)

El mercado mayorista de energía en los sistemas interconectados de Chile (SIC y SING) opera bajo un principio de generación competitiva al costo más bajo, con dos mercados: un mercado spot con precios determinados basada en el costo marginal a corto plazo (Short Run Marginal Costs, SRMC) y un mercado de contratos bilaterales. Los generadores, por lo tanto, cuentan con las siguientes opciones para comercializar su electricidad:

1. Mercado spot (a costo marginal de corto plazo)
2. Contratos de largo plazo con otros generadores o con grandes clientes finales a precios no regulados
3. Contratos a largo plazo con las distribuidoras, establecidos por medio de licitaciones públicas.

7.2.1.1 *Mercado spot*

Los precios del mercado spot consisten en:

1. El sistema de costo marginal a corto plazo (SRMC) se establece sobre una base de una hora por el respectivo centro de despacho (CDEC-SING o CDEC-SIC). El SRMC se calcula por cada nodo del sistema. Todas las transacciones entre generadores y el mercado spot se llevan a cabo a este precio.
2. El ente regulador determina el precio de potencia cada 6 meses basándose en costos de capital anualizados más los costos de mantenimiento y operación de una empresa con una planta generadora de gas de ciclo abierto eficiente. Los generadores deben comprar o vender la diferencia entre su potencia firme y la demanda máxima esperada bajo sus obligaciones contractuales al precio de potencia. Se realizan reembolsos por cada discrepancia entre las proyecciones de oferta y demanda y las cifras reales a fin de año.

Los precios en el mercado spot en Chile están entre los más altos de América Latina y muestran un alto nivel de volatilidad, debido a la naturaleza inestable de los recursos hídricos que forman parte del SIC. En períodos de sequía las plantas de energía térmica más costosas como el diesel se utilizan para compensar la falta de agua. Por otra parte, las fluctuaciones en los precios de los *commodities* tienen un gran impacto en los precios de la electricidad en Chile. Por ejemplo, los precios spot promedios subieron en un 64% entre el primer trimestre del 2010 y el del 2011 (desde 149 a 244 USD/MWh) debido a una combinación de sequía severa y precios altos en los *commodities*. Las restricciones en el suministro de gas desde Argentina han sido un factor importante que contribuye a la volatilidad y el alto precio spot en Chile. Sus precios llegaron a un máximo de casi 350 USD/MWh en marzo del 2008, en el punto máximo de la crisis del gas. Los precios spot representan del 70 al 80% de los ingresos de los generadores por su participación en el mercado spot; el 20 o 30% restante se percibe por ventas de potencia firme.

7.2.1.2 Mercado de contratos

Antes de la promulgación de la Ley Corta II de mayo del 2005, los contratos con las distribuidoras se fijaban a precios de nudo, los que eran determinados por el ente regulador del mercado eléctrico (CNE) cada 6 meses. El precio de nudo consistía de 2 componentes: precio de energía en el nodo, calculado según el costo marginal a corto plazo anticipado, y precio de potencia por nodo, que corresponde al costo de capital y de operaciones y mantenimiento de una turbina de gas tomada como referencia. El precio calculado en el nodo (potencia más energía) se ajustaba para que coincidiera entre el -5% y el 30% del precio promedio convenido entre los generadores y consumidores en el mercado no regulado.

Desde enero del 2010, el precio de suministro a las distribuidoras debe ser establecido por medio de ofertas en competencia directa, donde cada distribuidora anuncia sus requerimientos de energía y potencia, y los generadores ofrecen su precio más bajo por los contratos que desean. La extensión del contrato es de 15 años. Los precios de los contratos antiguos se calcularon según el precio de nudo.

7.2.2 Redes eléctricas de tamaño mediano (Aysén y Magallanes)

Las redes eléctricas en Aysén y Magallanes se clasifican como “sistemas medianos” (redes eléctricas de tamaño mediano) y no están sujetas a los objetivos o normativas de la Ley de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), en cuanto a la inclusión de generadoras adicionales a la red. En estas áreas, a diferencia del SIC y el SING, el control sobre las funciones de generación, transmisión y distribución se ejerce por medio de una sola entidad (EDELAYSEN y EDELMAG).

7.2.3 Suministro directo a clientes industriales

Existe un gran número de industrias en la costa de Chile que podrían alimentarse directamente de la energía generada por dispositivos undimotrices o mareomotrices. Una gran cantidad de puertos, terminales de exportación minera, plantas de desalinización, bombeo y tratamiento de aguas (y casi todas las granjas salmoneras) cuentan con sus propios generadores en el sitio. La energía marina cuenta con el potencial para reemplazar o reducir el consumo de energía de fuentes convencionales para estos clientes. En cuanto a energía solar y eólica, esto ya ocurre, por ejemplo, en Magallanes se han construido turbinas eólicas para generar electricidad para una planta de metanol en las afueras de Punta Arenas.

En algunos casos, tales proyectos se podrían describir como contratos bilaterales a precios no regulados (ver el punto 7.4.1 más arriba), pero otros pueden involucrar a clientes industriales sin conexión a la red eléctrica o que poseen sus propios equipos de generación de energía.

7.2.4 Comunidades aisladas

Chile tiene muchas comunidades aisladas por razones de distancia o terrenos difíciles que les impide tener suministro de electricidad con conexión a la red eléctrica o agua dulce. Estas zonas generalmente tienen costos de energía más altos que los sistemas eléctricos principales (ver el costo de generación por diésel en zonas remotas en la Figura 43). También, cabe mencionar que los proyectos de menos de 3MW no están sujetos a la Evaluación de Impacto Ambiental del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Como se describió en los capítulos de investigación y desarrollo y sobre las regiones en este informe, existe una oportunidad importante para que la energía undimotriz y mareomotriz entregue energía y agua a las comunidades aisladas en Chile y para que las mismas comunidades sean los propietarios de los proyectos.

7.3 Apoyo disponible en la actualidad

Hasta que la energía marina pueda competir directamente con otras formas de generación, los primeros proyectos necesitarán de apoyo – mediante subsidios de capital y posiblemente de ingresos - para desarrollar la tecnología (investigación y desarrollo) y para las primeras granjas de energía marina, hasta que el costo de la tecnología se haya reducido a un nivel donde pueda existir competencia con otras fuentes de generación de energía.

La Estrategia de Energía Marina del Ministerio de Energía, manifiesta la necesidad de entregar instrumentos que apoyen y promuevan la inversión y el desarrollo de la industria de energía marina en Chile. Reconoce que un modelo de financiamiento por proyecto no es viable y que se debería estudiar la posibilidad de algún tipo de subsidio, además de instrumentos de apoyo financiero para evitar barreras de entrada al mercado.

El mercado eléctrico chileno está desregulado y opera en base a un modelo de costo más bajo. Existen incentivos y metas para las Energías Renovables No Convencionales (ERN¹³) y recientemente se han incrementado, sin embargo, actualmente apuntan a proyectos de neutralidad tecnológica y no están dirigidos a tecnologías precomerciales, como son la energía undimotriz y mareomotriz.

El Informe *Marine Energy Development (Desarrollo de energía marina)* del 2011 (E&A/UoE, 2012) describe incentivos y herramientas de financiamiento para el desarrollo de proyectos de energía marina, basándose en la experiencias de Europa y específicamente del Reino Unido. Para una estrategia de desarrollo de energía marina en Chile (que es lo que el Gobierno de Chile ha clasificado como una de sus metas), se han discutido diversos mecanismos de financiamiento incluyendo el sistema UK ROC, las subastas implementadas en Perú y Brasil y las *feed-in tariffs* de Canadá (una tarifa especial o sobre precio por unidad de energía eléctrica inyectada a la red proveniente de ERNC).

Cabe mencionar las alternativas de la exención de impuestos y las zonas de libre comercio en Chile que pueden tener un impacto positivo en el financiamiento del proyecto. Estos se muestran en la Figura 40 a continuación.

¹³ El Gobierno de Chile excluye los proyectos hidroeléctricos a gran escala de la definición de ERNC.



DFL 15. Regiones de Arica y Parinacota; Tarapacá; Aysén del General Ibáñez del Campo; Magallanes y Antártica Chilena; y las Provincias de Chiloé y Palena (de la Región de Los Lagos): bonificación del 20% para inversión en activos fijos para proyectos inferiores o iguales a USD 1.4 millones y ventas hasta por USD 1 millón.

Plan Arica. Exención del impuesto de primera categoría hasta: 30% (inversión en activos fijos) en la Provincia de Arica; 40% (inversión en construcción y bienes raíces) en la Provincia de Parinacota; 40% (inversión en propiedades para proyectos turísticos) en la Provincia de Arica. Todos ellos en la Región de Arica y Parinacota.

Plan Austral. Regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo; Magallanes y Antártica Chilena; y la Provincia de Palena de la Región de Los Lagos: exención del impuesto de primera categoría hasta el 23% de la inversión en activos fijos.

Leyes Navarino y Tierra del Fuego. 20% de bonificación sobre las ventas netas (dentro del país); y exención del impuesto de primera categoría (hasta el año 2035) respectivamente, en las Provincias de Porvenir y Primavera, ambas de la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

DL 889 Regiones de Arica y Parinacota; Tarapacá; Aysén del General Ibáñez del Campo; Magallanes y Antártica Chilena; y Provincias de Chiloé y Palena (de la Región de Los Lagos): bonificación para recursos humanos del 17% del salario mínimo por persona.

ZONAS DE LIBRE COMERCIO. Beneficio tributario en compras de activos fijos en la Región de Arica y Parinacota y la Región de Tarapacá.

Figura 40: Exención de impuestos y zonas de comercio libre en Chile (InvestChile CORFO, 2011)

Ya existen en Chile varios instrumentos de financiamiento para los proyectos de fuentes de energía renovable y la mayoría son administrados por CORFO, la agencia gubernamental para el fomento de la producción en Chile. En la Figura 41 a continuación se pueden observar los mecanismos de apoyo financiero potenciales para los proyectos de energía marina.

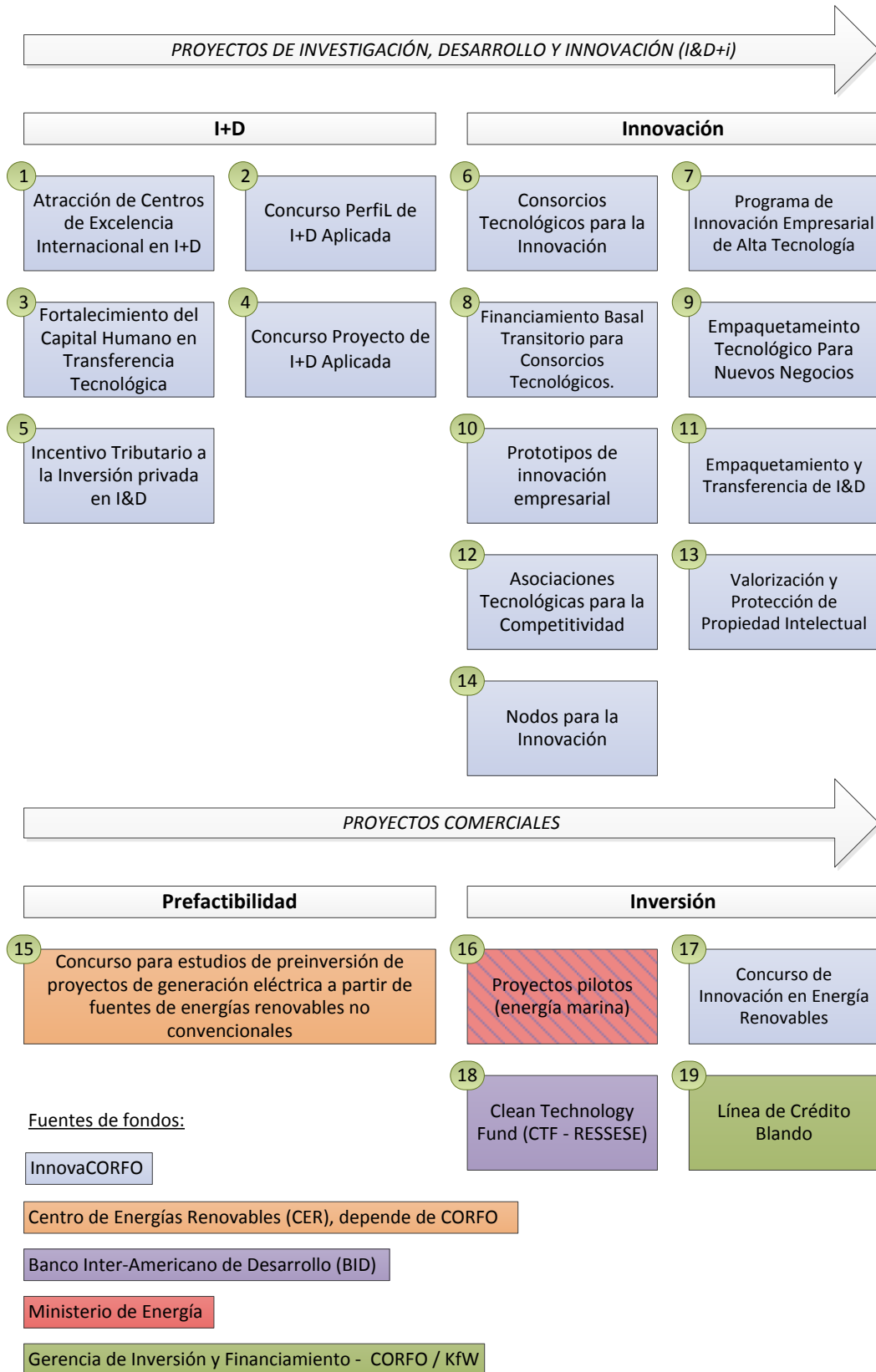


Figura 41: Mecanismos de apoyo financiero disponibles en Chile y aplicables a los proyectos de energía marina

Los enlaces de los sitios web para el apoyo financiero disponible según Figura 41 se presentan a continuación:

1. <http://www.corfo.cl/programas-y-concursos/programas/atraccion-de-centros-de-excelencia-internacional-de-id-en-energia-de-los-mares>
2. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-perfil-de-id-aplicada>
3. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-fortalecimiento-de-capital-humano-en-transferencia-tecnologica>
4. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-proyecto-de-id-aplicada>
5. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/incentivo-tributario-a-la-inversion-privada-en-investigacion-y-desarrollo>
6. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/consorcios-tecnologicos-para-la-innovacion>
7. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/programa-de-innovacion-empresarial-de-alta-tecnologia>
8. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/financiamiento-basal-transitorio-para-consorcios-tecnologicos>
9. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/empaquetamiento-tecnologico-para-nuevos-negocios>
10. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/prototipos-de-innovacion-empresarial>
11. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-empaquetamiento-y-transferencia-de-id>
12. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/asociaciones-tecnologicas-para-la-competitividad>
13. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/valorizacion-y-proteccion-de-propiedad-intelectual>
14. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/nodos-para-la-innovacion>
15. <http://cer.gob.cl/concurso-preinversion/>
16. <http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page.1303.html?id=CH-G1002>
17. <http://corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-de-innovacion-en-energias-renovables>
18. <http://www.iadb.org/en/projects/project-description-title.1303.html?id=CH-T1132>
19. <http://www.corfo.cl/programas-y-concursos>

7.4 Necesidades de la industria

Se puede observar en la Figura 41 que hay una cantidad importante de fondos disponibles para el estudio, desarrollo e innovación de proyectos en Chile. Varios desarrolladores de tecnología y universidades chilenas ya han utilizado estos fondos para realizar proyectos a pequeña escala (ver ejemplos en la Figura 42). Los fondos del Centro de Energías Renovables para estudios de pre-factibilidad pueden ser de utilidad para evaluar los proyectos de energía marina, y el sector privado ha manifestado interés en usar el fondo de consorcios para la innovación de CORFO para desarrollar este tipo de proyectos. Sin embargo, los fondos para tecnologías limpias, KfW e innovación en energías renovables, están diseñados para tecnologías más avanzadas con costos más competitivos y un riesgo tecnológico más bajo.

Aunque algunos de estos fondos se podrían utilizar como parte de un arreglo financiero más amplio, los dos instrumentos con el potencial de crear un impacto importante en la energía marina en Chile a corto plazo son los proyectos pilotos y el Centro de Excelencia Internacional.

Los proyectos pilotos de energía marina propuestos apuntan a instalar los primeros dispositivos de energía marina a gran escala en aguas chilenas. El apoyo total disponible se estima en unos USD 9 millones para energía mareomotriz y USD 5 millones para energía undimotriz, lo que financiaría hasta el 50% de los costos del proyecto. Se espera la convocatoria de las primeras ofertas durante el 2014 y el propósito es contar con dispositivos instalados para el año 2016. El fondo será administrado por el Ministerio de Energía con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, quien proporcionará fondos adicionales para los proyectos.

El futuro Centro de Excelencia Internacional propuesto busca realizar innovaciones en investigación y desarrollo que apoyen la industria de energía marina en Chile. El máximo de subvención disponible se calcula en USD 13 millones, entregados de manera gradual durante 8 años y con cerca de USD 7 millones requeridos como financiamiento de contrapartida. Un 50% de los fondos de contrapartida podrían ser de contribuciones no financieras (en especie: materiales y servicios). Los fondos serán administrados por InnovaCORFO en conjunto con el Ministerio de Energía.

Desde el año 2008 Chile cuenta con un crédito tributario para investigación y desarrollo de 35% por gastos en contratos relacionados con estas áreas. En el año 2012 se aprobó una ley que establece un crédito tributario máximo para cada empresa de USD 1,2 millones, tres veces el máximo anterior. Esta ley, también, permite aplicar los créditos a una gama más amplia de gastos; entrega un mayor grado de flexibilidad en los procedimientos; permite la presentación de requerimientos hasta 180 días después de iniciados los trabajos de investigación y desarrollo; y elimina el límite de porcentaje de ventas brutas para permitirle a los start-ups y las PYMES el uso de este crédito. Además, y lo que es significativo para las empresas internacionales, el crédito, también, considera hasta un 50% del costo de actividades de investigación y desarrollo realizadas fuera de Chile.

Los fondos existentes han sido suficientes para apoyar a algunas empresas chilenas en la evaluación de prototipos pequeños o a escala parcial (ver Figura 42), además de varios proyectos universitarios y otros estudios. Los proyectos pilotos asegurarán las primeras instalaciones a escala completa en Chile y el Centro de Excelencia Internacional mantendrá un cierto nivel de actividad de investigación y desarrollo e innovación. La siguiente sección de este informe describe la ruta hacia la comercialización de la industria y el apoyo que se necesitará en el intertanto.



Figura 42: Trayecto de la tecnología (basado en Carbon Trust, 2011)

En el informe del 2011 *Accelerating Marine Energy (Acelerando la energía marina)* Carbon Trust, 2011), el Carbon Trust del Reino Unido hace un pronóstico del ritmo probable de la reducción en los costos de la energía marina según la capacidad global instalada. En la Figura 43 se comparan estas cifras con los precios históricos y proyectados de la electricidad en Chile y el costo de la generación por diésel. Cabe destacar que los proyectos más pequeños no lograrán desarrollar las economías de escala presentadas en los cálculos de Carbon Trust para instalaciones industriales de energía marina. Sin embargo, dado el costo en aumento de la generación de diésel, el potencial de las energías marinas (especialmente mareomotriz) para competir con la generación de diésel es cada vez más competitivo.

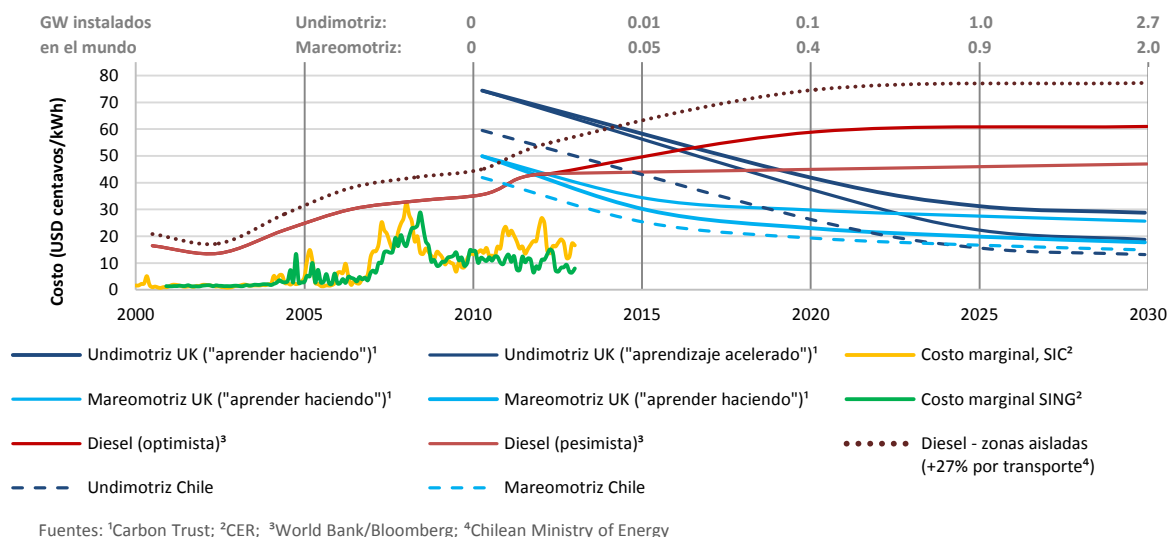


Figura 43: Precios del mercado spot eléctrico en Chile comparados con los costos nivelados de generación undimotriz, mareomotriz y por diesel

Nota: Los costos nivelados de energía undimotriz y mareomotriz pronosticados que se muestran en azul oscuro y claro en la Figura 43 dependen de las instalaciones a nivel mundial de energía marina (eje X superior) en lugar del año (eje X inferior).

Por las razones dadas anteriormente en las Secciones 7.1 y 7.2 y en base a un análisis provisional LCOE realizado por Aquatera, se cree que en Chile se pueden alcanzar las reducciones de costo nivelado de hasta el 16% en el caso de mareas y del 30% en el caso de olas (ver Figura 43). Estas cifras deberían confirmarse en un estudio más detallado (Recomendación 5-B,).

Aunque la interconexión de los sistemas SIC y SING en el año 2018 puede disminuir los precios de la electricidad por un cierto tiempo, es probable que a largo plazo los precios aumenten debido al incremento en la demanda y la dependencia continua de Chile de las importaciones de combustibles fósiles desde el extranjero.

El costo nivelado de las energías undimotriz y mareomotriz disminuirá mientras la producción acumulada de estas fuentes aumente. No se sabe hasta qué punto los proyectos de generación eléctrica a escala comercial y conectados a la red sean comercialmente atractivos, pero es posible que algunos proyectos sean competitivos en cuanto a costos respecto de otras fuentes de energías renovables para mediados de la década del 2020.



Figura 44: Escenario potencial de desarrollo de la energía marina en Chile

La Figura 44 muestra un escenario potencial de desarrollo de la energía marina en Chile. El Gobierno de Chile ha anunciado que entregará el financiamiento necesario para realizar los proyectos pilotos y el Centro de Excelencia Internacional. Este es un gran primer paso en el camino para desarrollar proyectos a escala comercial, asimismo, garantiza cierta cantidad de actividad en la energía marina en el corto plazo, pero es poco probable que se mantenga un nivel importante de actividad marina al punto de la comercialización.

En el mediano plazo (ver Figura 44), hay incertidumbre sobre el financiamiento de proyectos pre-comerciales antes del 2025. Con los mecanismos de apoyo financiero disponibles actualmente, existe el riesgo de que la industria de energía marina en Chile pierda su impulso, ya que existe la posibilidad de que se genere una brecha en la actividad de instalación entre el final de la fase operacional con subvención parcial y el comienzo de proyectos comercialmente viables.

Estudio de caso 7-A: Apoyo financiero para los proyectos de energía marina en Europa

En Europa, los inversionistas industriales y de servicios públicos ya han invertido el equivalente a cientos de millones de dólares (EE.UU.) en el sector. Los miembros de la Asociación Europea de Energía Oceánica han declarado, que con el fin de atraer la inversión necesaria para promover un nuevo sector industrial, se requiere un enfoque unificado para gestionar las tres principales categorías: técnica, de proyecto y financiera o de riesgo basado en el mercado.

Esto requerirá de un compromiso sustancial, tanto en el ámbito estatal y europeo, que se estima en alrededor de € 1000 millones. En el aspecto financiero, la asociación estima que el financiamiento y desarrollo de proyectos requerirán de apoyo tecnológico de empuje (subvenciones) para reducir el riesgo de la tecnología y la demanda del mercado (soporte de ingresos) para que lleguen a ser competitivos. La Asociación de Energía Oceánica Europea ha puesto de relieve la necesidad de fomentar la inversión del sector privado a través del apoyo de ingresos en los primeros años en conjunto con créditos blandos, co-inversiones y garantías públicas, con el fin de reducir el riesgo de financiamiento de proyectos.

No es casualidad que el desarrollo de tecnologías en energías marinas de mayor comercialidad se centrara en el Reino Unido, donde la última propuesta arancelaria es de 305 € por MWh para los proyectos iniciados en 2017 (esto es casi USD 50 centavos por kWh (ver Figura 43). El Apoyo financiero sustancial también está disponible en Francia, y está estrechamente vinculada a los proyectos derivados de la actividad industrial directa dentro de ese país. Nueva Escocia en Canadá ha establecido recientemente un arancel inicial de USD 575 por MWh para los dispositivos de prueba en el Fundy Ocean Research Centre for Energy.

También, es propicio señalar que el costo total hasta la fecha de la Obligación de Renovables (ROC), líder mundial en Escocia, ha sido inferior a USD 75.000 USD (debido a la cantidad relativamente baja de energía producida hasta la fecha), sin embargo, esta medida ha tenido un papel decisivo para lograr un número record de compañías de energía marina en Escocia y el Reino Unido.

7.5 Conclusiones - financiamiento

Según los resultados de la investigación y consulta realizada como parte de este proyecto, la posibilidad de que se implementen incentivos de mercado para una tecnología específica o incentivos a la generación como la inclusión de *feed-in-tariff* o un sistema ROC en Chile, es pequeña, por lo menos en el corto plazo. Algunos plantean que una intervención del Gobierno de Chile de este tipo en el mercado sería una acción inconstitucional.

Un escenario más probable para Chile es la convocatoria a licitaciones o invitaciones a presentar ofertas para un bloque modesto de energía marina (de 10 a 30MW) en el mediano plazo, quizás por medio de la expansión de los proyectos pilotos cerca del año 2020. Como se señaló en el informe de Errázuriz & Asociados/Universidad de Edimburgo, tal medida debe ser diseñada cuidadosamente para desarrollar una cadena de suministro de energía marina en Chile, mediante el uso de bienes, servicios y materiales locales.

La expansión de los proyectos pilotos hacia el final de esta década ayudaría a mantener una continuidad en la industria antes de la llegada de granjas comerciales, pero no será suficiente para que Chile cumpla un rol importante en las actividades de “aprender haciendo” que resultan en la reducción de costos, asociadas con la instalación de cientos de MW, descrita por Carbon Trust en el Capítulo 5 sobre I+D+i de este informe (página 34).

Aún es posible que Chile siga una estrategia de desarrollo sin tener que subsidiar implementaciones pre-comerciales a gran escala, por medio de:

- La continuidad de actividades en el área convencional de prototipos de gran escala conectados a la red eléctrica, por medio del desarrollo de un nuevo instrumento de financiamiento para apoyar a las primeras granjas pre-comerciales en Chile. Por ejemplo, esto puede incluir una expansión de los proyectos pilotos undimotrices y mareomotrices (que poseen un total de <2MW de capacidad instalada) para que incluyan múltiples dispositivos (con 10 a 30MW de capacidad) en el mediano plazo (por ejemplo, cerca del 2020).
- Apoyo a proyectos de investigación, desarrollo e innovación que contribuyan a reducir el riesgo tecnológico y reduzcan los costos a niveles viables comercialmente. Este trabajo debe ser coordinado con las necesidades de la industria global de energía marina. En Chile, ya existen ejemplos de investigación y desarrollo en energía marina para dispositivos instalados en el extranjero, donde la adaptación de estas máquinas a las aguas chilenas probablemente será un factor clave. Se debe considerar esta opción como apoyo complementario al desarrollo de tecnologías chilenas.
- El desarrollo de nuevos estudios e instrumentos de financiamiento para apoyar el desarrollo de nichos de mercados donde Chile cuenta con una ventaja natural, por ejemplo:
 - Bombeo y desalinización de aguas con el uso de energía undimotriz en el norte de Chile (a gran escala para la industria minera y centros poblados, y a pequeña escala para comunidades aisladas)
 - Generación eléctrica con el uso de energía undimotriz a pequeña escala para comunidades aisladas en todo Chile
 - Generación eléctrica con el uso de energía mareomotriz a pequeña escala para comunidades aisladas y granjas salmoneras en el sur de Chile

En las industrias mineras, salmoneras, de construcción naval y otras industrias clave, se presentan oportunidades para que las empresas privadas formen alianzas para fomentar la investigación y el desarrollo de la energía marina, lo que les entregará ventajas estratégicas en el largo plazo. Algunos de los fondos que se muestran en la Figura 42 (como los fondos para consorcios de tecnología) serían suficientes para realizar proyectos de energía marina, si las empresas privadas (o sus consorcios) están abiertas a hacer inversiones estratégicas.

Recomendación 7-A: Apoyo financiero para proyectos de energía marina sin conexión a la red eléctrica

El **Ministerio de Energía** y **CER** en colaboración con los **Gobiernos regionales** pueden considerar el desarrollo de instrumentos de apoyo financiero para los proyectos de energía marina a pequeña escala y sin conexión a la red eléctrica, que suministran de energía y agua dulce a comunidades aisladas e industrias específicas, tales como la acuicultura. Esta iniciativa podría contemplar estudios de viabilidad, proyectos pilotos e investigaciones relacionadas.

Estos tipos de proyectos pueden ser implementados a un costo relativamente bajo, por lo tanto, el enfoque de proyectos a esta escala es una manera rentable (y de riesgo relativamente bajo) de mantener una continuidad en la industria de la energía marina en Chile. Esta iniciativa podría llegar a ser especialmente importante, en el caso que los niveles de apoyo financiero necesarios para proyectos más grandes no se materialicen.

Esta área ha recibido relativamente escaso apoyo a la fecha a nivel internacional, sin embargo, algunos **desarrolladores tecnológicos e investigadores** ya están haciendo progreso en este frente. Dada la relativa falta de apoyo a estos tipos de proyectos en otros países, existe un gran potencial para la exportación internacional de tecnologías y competencias en el caso que Chile se convierta en líder de esta área.

Gobierno de Chile

Corto plazo

Recomendación 7-B: Apoyo financiero para proyectos de desalinización y bombeo de agua a partir de energía undimotriz

El **Ministerio de Energía** y el **CER** en colaboración con los **Gobiernos Regionales**, pueden considerar el desarrollo de instrumentos de apoyo financiero para fomentar estudios y proyectos en relación al bombeo de agua y desalinización a partir de la energía undimotriz para la industria minera. Esta iniciativa podría contemplar estudios de viabilidad, proyectos piloto e investigaciones relacionadas.

El mercado de estos tipos de proyectos en Chile es bastante grande, y a pesar de que esta área ha recibido relativamente escaso apoyo a la fecha a nivel internacional, puede ser más llamativa que el área convencional del desarrollo de dispositivos de energía undimotriz con conexión a la red (generación de electricidad).

Ministerio de Energía

Mediano plazo

Recomendación 7-C: Nuevos instrumentos de apoyo financiero para proyectos piloto de expansión de 10-30MW para el 2020

El **Gobierno de Chile** podría considerar la realización de una licitación o invitación a ofertar para un bloque de energía marina (10 a 30MW) a mediano plazo (fecha tentativa, 2020), con el propósito de apoyar las primeras granjas precomerciales de dispositivos de energía undimotriz y mareomotriz en Chile.

Esto ayudaría a mantener el nivel de actividad de la energía marina en el país hasta que los proyectos a gran escala sean viables comercialmente, y aseguraría que Chile mantenga un rol activo en el desarrollo de la energía marina.

Tales proyectos podrían, ya sea, estar conectados a la red eléctrica o proveer otro mercado energético (por ejemplo, consumidores directos de electricidad, desalinización o bombeo de agua, etc.)

Gobierno de Chile

Mediano plazo

8 Análisis regional

8.1 Introducción

Chile es un extenso país que cuenta con más de 4.000 km de línea costera, que se extiende desde el desierto en el norte hasta las heladas zonas glaciales en el sur. Algunas de las quince regiones de Chile tienen un tamaño comparable a muchos países; es por esto que la política de la energía marina debe tomar en cuenta esta extensa y diversa geografía.

En este capítulo del informe se explora el potencial de la energía marina con la que cuentan las distintas regiones de Chile. Se evalúan oportunidades y desafíos, y se proponen prioridades a nivel regional. Para los propósitos de este informe, se ha dividido Chile en siete regiones en torno a la energía marina, cada una con sus diferentes entornos naturales y construidos característicos. Como se muestra en la Figura 45, estas regiones para la energía marina se componen de diversas regiones administrativas.

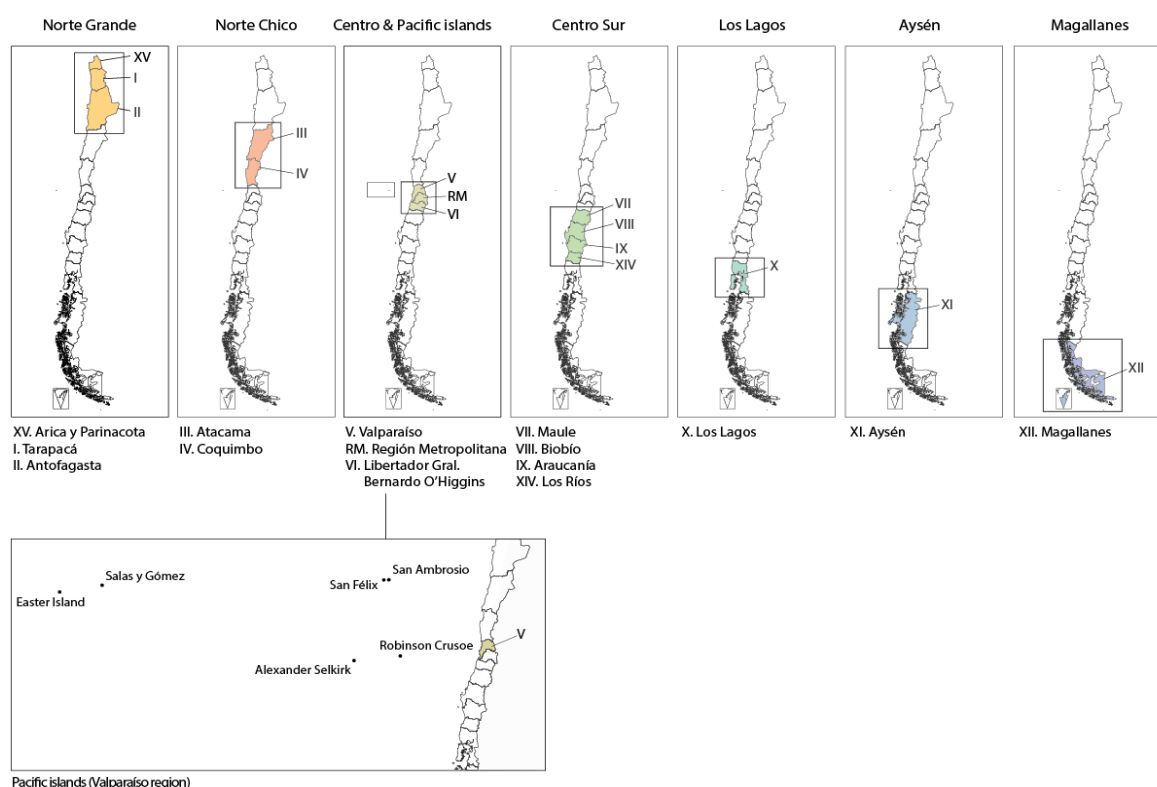


Figura 45: Regiones para la energía marina evaluadas en este informe

Chile Continental se extiende sobre los 39 grados de latitud, desde los 17° Sur en la frontera con Bolivia y Perú hasta los 54° Sur en el Cabo Froward en la Patagonia. La diferencia climática entre las zonas extremas en el norte y el sur del territorio da origen a los distintos patrones de producción y consumo energético, al igual que en la disponibilidad de agua dulce.

Muchas de las zonas con mayor densidad poblacional en Chile se encuentran en la costa o cerca de ella, y el espacio para proyectos de generación de energía en áreas desarrolladas puede ser limitado. Como se muestra en la Tabla 15, más de la mitad de la población en Chile, y gran parte de la actividad económica del país, se concentra en la zona central. En otras zonas, existen vastos territorios con baja densidad poblacional y muchas áreas aisladas.

Tabla 15: Información económica para las distintas regiones en Chile

Región para la energía marina	Región administrativa	Población ¹⁴	Porcentaje de PIB ¹⁵	PIB per capita ¹⁶ (PPA)	Tasa de desempleo ¹⁷	% Tasa de pobreza ¹⁸
Norte Grande	XV.Arica y Parinacota	181,402	0.63	7,096	7.5	17.8
	I.Tarapacá	328,921	2.47	15,359	4.4	15
	II.Antofagasta	588,130	10.50	36,549	5.4	9.1
Norte Chico	III.Atacama	284,607	2.75	19,762	5.0	15.8
	IV.Coquimbo	739,153	3.20	8,866	6.3	17.5
Centro	V.Valparaíso	1,795,765	8.07	9,196	7.5	20.3
	RM. Metropolitana	7,007,620	48.97	14,307	6.7	13.7
	VI.O'Higgins	900,163	4.50	10,243	5.5	11.7
Centro Sur	VII.Maule	1,023,686	3.69	7,382	5.8	18.8
	VIII.Biobío	2,061,544	7.95	7,898	8.0	26
	IX.Araucanía	986,397	2.24	4,654	7.4	28.2
	XIV.Los Ríos	381,720	1.22	6,563	5.3	20.5
Los Lagos (región X)		856,971	2.47	5,910	4.1	18.1
Aysén (región XI)		106,885	0.48	9,106	5.5	11.4
Magallanes (región XII)		159,666	0.86	11,073	3.1	7.1

En la Tabla 15 también se muestran las diferencias en riqueza, desempleo y pobreza que existen entre las distintas regiones de Chile. Estos aspectos influyen significativamente en una política en desarrollo de energía marina, ya que definen el mercado de la energía, y la disponibilidad y el costo del contrato de mano de obra, además de las prioridades de desarrollo de los Gobiernos Regionales. Ver, también, Recomendación 8-J y Recomendación 8-K, página 142.

A continuación, en la Tabla 16 se presenta parte de la información sobre los recursos para la energía marina, la infraestructura y el mercado energético para cada región que se utilizó para respaldar el análisis regional de las siguientes secciones de este capítulo.

¹⁴ Información de INE para 2012

¹⁵ Información para 2012 del Banco Central de Chile. Cálculos basados en el PIB nacional regionalizado subtotal. Información de PIB basada en la estructura regional anterior (Doce regiones más la Región Metropolitana)

¹⁶ Cálculos basados en la información del Banco Central de Chile. Datos para 2012 expresados PPA constante en USD de 2012. (CLP486,75/USD).

¹⁷ Información de INE para 2012

¹⁸ Información de UNDP 2011 <http://www.pnud.cl/areas/ReduccionPobreza/datos-pobreza-en-Chile.asp>

Tabla 16: Comparación regional de los recursos, infraestructura y mercados energéticos para la energía marina

Factor	Unidades	Norte Grande	Norte Chico	Centro	Centro Sur	Los Lagos	Aysén	Magallanes	Islas en el O. Pacífico
Recursos para la energía marina									
Costa expuesta	km ²	1,242	1,229	486	1,195	831	1,213	2,619	73
Plataforma de suelo marino	km ² <100 m de profundidad	5,000	3,300	2,175	18,500	8,600	21,400	78,250	150
Clima de oleaje ¹⁹	kW/m	20-25	25-31	36-41	46-61	71-87	87-111	111-120	45-60
Recurso undimotriz	MW	20,000	21,300	10,700	32,000	25,700	45,200	88,600	1,900
Sitios de mareas clave	Número	0	0	0	1	7	3	14	1
Recurso mareomotriz ²⁰	MW	0	0	0	14	1,067	220	3,560	12
Infraestructura									
Plantas térmicas	Número	14	11	20	24	6	5	4	0
Plantas hidroeléctricas	Número	6	4	29	42	11	4	0	0
Plantas eólicas	Número	6	13	4	9	3	1	1	0
Plantas solares	Número	30	2	0	0	0	0	0	0
Subestaciones costeras	Número	10	8	9	9	7	0	0	2
Puertos principales ²¹	Número	3	2	2	5	1	1	2	2
Naves de remolque	>50 Tonelaje	19	2	17	16	9	1	9	0
Universidades	Número	20	13	59	34	6	3	3	0
Mercados energéticos									
Población ²²	Miles de habitantes	1,098	1,024	9,697	4,453	857	107	160	7
Caletas pesqueras	Número registrados	30	53	40	119	196	17	10	7
Sitios para la acuicultura	Número	23	119	1	47	2,015	490	42	0
Sitios para la minería ²³	Número	668	3,686	1,419	241	0	14	25	0
Abastecimiento de agua	% viviendas	97	96.3	97.5	82.0	82.2	92.6	98.3	n/a
Plantas de desalinización	Número	6	3	0	0	0	0	0	0

¹⁹ Proporcionado por Baird & Associates, que poseen datos del recurso undimotriz detallado de toda la costa chilena.

²⁰ Cálculos de Aqwatera

²¹ <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/default.htm>

²² http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2012/estadisticas_demograficas_2012.pdf

²³ <http://www.sernageomin.cl/sminera-atlas.php>

Se hace evidente que los desafíos y oportunidades que enfrenta el desarrollo de la energía undimotriz y mareomotriz son muy diferentes en una región a otra. Las siguientes secciones de este informe examinan el potencial de desarrollo de cada una de las regiones desde el punto de vista de la energía marina con el fin de proponer las prioridades para el desarrollo de cada una de estas regiones (ver Figura 45). Las prioridades a proponerse en este informe se resumen en la Tabla 17 al final de este capítulo. El análisis se apoya en los mapas de las diferentes regiones (ver Figura 48, Simbología). La información de estos mapas se obtuvo en el año 2013 a partir de las siguientes fuentes:

Referencias de mapas

La información sobre el recurso undimotriz basado en un modelo de oleaje en aguas profundas fue proporcionada por Baird & Associates S.A. Esta empresa mantiene datos de recursos undimotrices de toda la costa chilena con una resolución mayor de la que se muestra en estos mapas y, también, ha hecho las primeras aproximaciones de energía undimotriz en aguas menos profundas en Chile (Acuña S & Monárdez S, 2007) (Monárdez, et al., 2008) (Baird & Associates, 2012).



Los datos regionales y provinciales fueron proporcionados por Instituto Geográfico Militar (IGM).

La información sobre batimetría se obtuvo de los datos multi-beam de Global Multi-Resolution Topography (GMRT), incorporados a una compilación de menor resolución, que incluye el General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO 08), el International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) y el SCAR Sub-glacial Topographic Model of the Antarctic (BEDMAP).

Los datos de las caletas de pescadores y de las granjas salmoneras fueron proporcionados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Los datos sobre redes eléctricas y proyectos de energía renovable fueron proporcionados por el Ministerio de Energía.

Los datos sobre áreas protegidas fueron proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente Chile.

Los datos sobre plantas de desalinización fueron proporcionados por el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile.

Los datos sobre emplazamientos mineros fueron proporcionados por el Ministerio de Minería de Chile.

Los datos sobre la capacidad de generación instalada de 2012 se obtuvieron de www.centralenergia.cl

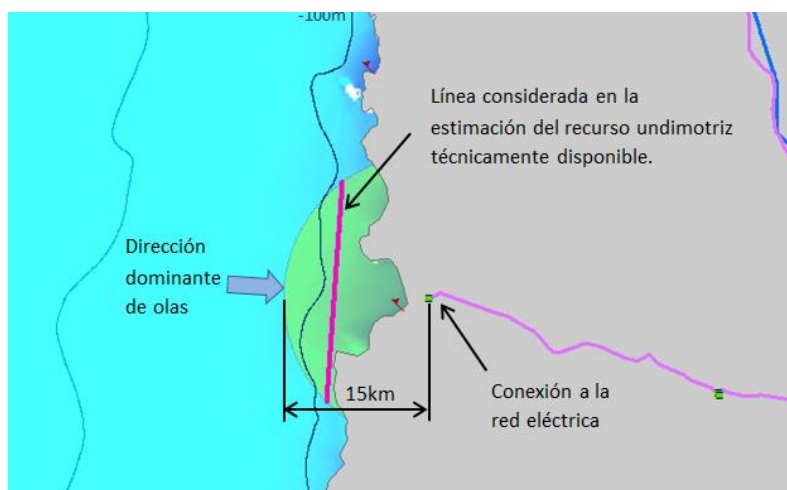


Figura 46: Metodología para la aproximación de recurso undimotriz técnico

La longitud de la costa del Pacífico se obtuvo del sistema de cartografía de Aquatera's ArcGIS, que se muestra en la Figura 46.

Las estimaciones simples del recurso undimotriz técnico de cada región se hicieron considerando el contorno de 100 m de profundidad desde la línea costera y a una dirección perpendicular de la ola dominante, que está a 15 km de la conexión a la red eléctrica (Figura 46). Esta es aproximación muy simple que no incluye los recursos disponibles en emplazamientos fuera de la red eléctrica, ni considera el número de filas de dispositivos que se podrían instalar o el rendimiento que tendrían. Se asume que el recurso mareomotriz técnico es el 10% del recurso total. El análisis del recurso no se encuentra en el ámbito de este estudio, pero se requieren más estudios en esta área, ver Recomendación 5-B(página 46) y Recomendación 8-J (página 142).

El área de plataforma de suelo marino (<100 m) es un parámetro relevante al considerar el espacio disponible para los proyectos de energía marina. Este se obtuvo a través de ArcGIS considerando el área de la costa del Pacífico y el contorno de 100 m de profundidad, como se muestra en la Figura 47.

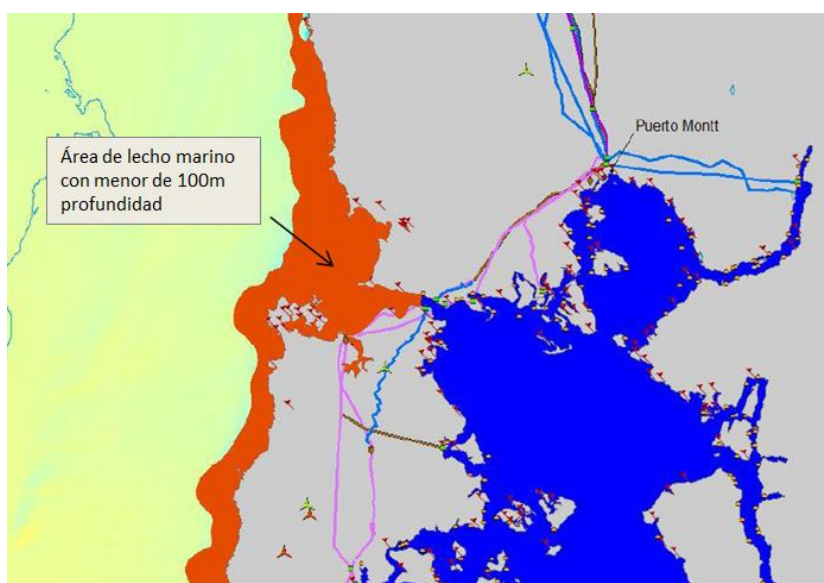
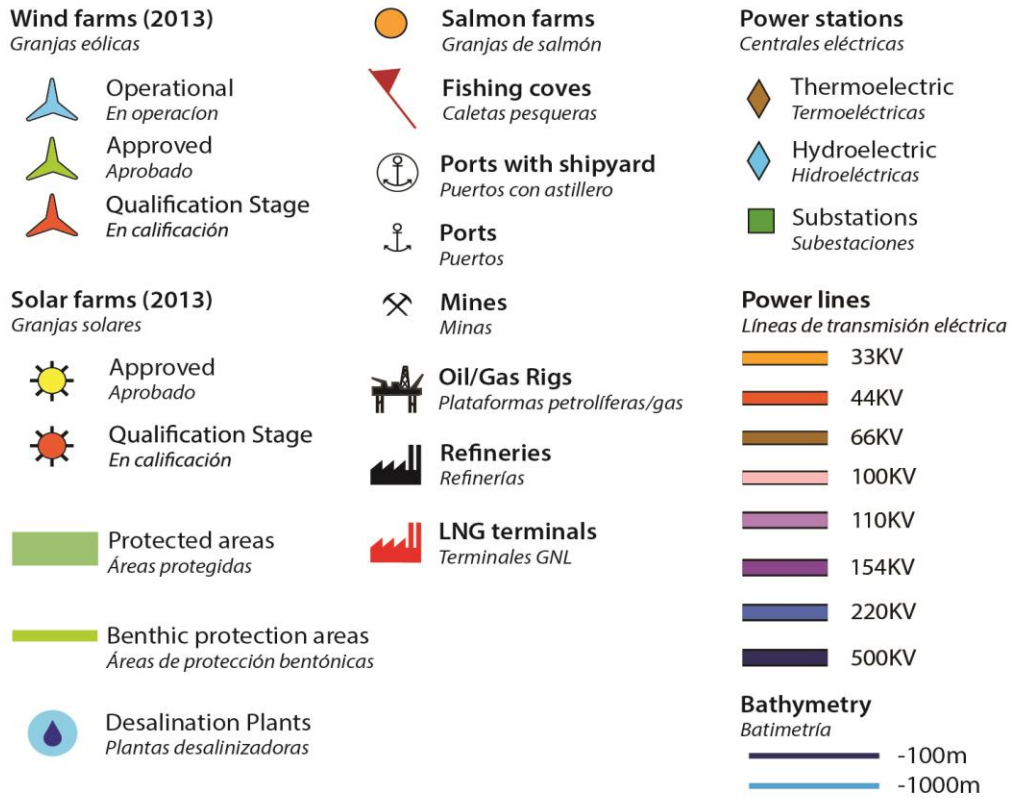


Figura 47: Metodología por estimación del área de plataforma de suelo marino apto para la instalación de dispositivos de energía marina (<100 m).



Potential tidal energy sites
Sitios potenciales para energía mareomotriz

Wave power Potencia undimotriz [kW/m]*	Location/Localización	Peak flow/Flujo máximo (m/s)		Estimated mean kinetic power (MW) Potencia cinética media estimada	
		Ebb tide Marea vaciante	Flood tide Marea creciente		
115 - 120	Magallanes	1. Robinson Crusoe	1.54	2.06	11.9
		2. Isla Santa María	1.28	1.54	14.0
		3. Canal de Chacao	4.63	2.57	800
		4. Canal Calbuco	1.29	2.06	7.9
95 - 100	Aysén	5. Estero Reloncaví	0.77	2.31	64.8
		6. Canal Dalcahue	2.57	2.06	10.1
		7. Bahía Quellón	0.51	2.06	2.7
		8. Canal Chaiguao	0.51	2.06	5.0
85 - 90	Los Lagos	9. Golfo Corcovado	0.51	2.06	31.1
		10. Canal Carhunco	2.06	0.51	1.9
		11. Canal Jacaf	0.51	2.57	89.2
		12. Estero Elefantas	1.80	3.08	73.5
75 - 80	Centro Sur	13. Angostura Inglesa	3.08	1.54	7.8
		14. Angostura Kirke	4.63	6.17	33.2
		15. Mal Paso	7.20	5.65	44.1
		16. Canal Fitz Roy	2.16	1.54	6.3
65 - 70	Centro	17. Puerto Curtze	1.64	1.03	3.5
		18. Isla Magdalena	1.03	2.06	14.7
		19. Bahía Gente Grande	1.03	1.54	19.2
		20. Segunda Angostura	2.06	2.57	734.7
55 - 60	Norte Chico	21. Puerto Sara	2.06	2.57	514.5
		22. Banco Tritón	1.03	2.06	7.1
		23. Primera Angostura	2.57	4.11	1,727.2
		24. Cabo Posesión	1.03	2.57	274.9
45 - 50	Norte Grande	25. Punta Dungeness	1.03	2.06	31.1
		26. Canal Beagle	1.03	1.54	42.8

*5kW/m is considered the minimum wave energy level feasible for generation

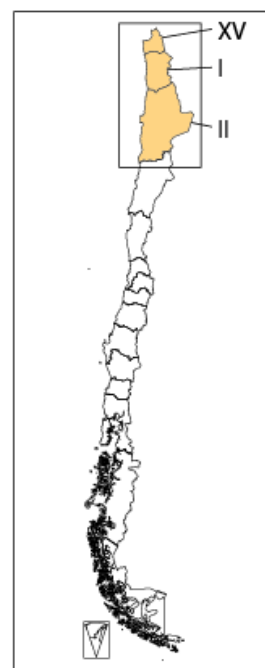
Figura 48: Simbología

8.2 Norte Grande

8.2.1 Visión general

El Norte Grande se encuentra en el extremo norte de Chile, y se compone de las regiones administrativas de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. Esta área se caracteriza por presentar unos de los desiertos más áridos en el mundo, El Desierto de Atacama, donde el abastecimiento de agua constituye un importante desafío. La población se concentra en las ciudades costeras y algunos valles productores. Más allá de estos, se encuentran grandes zonas escasamente pobladas, con bajas tasas de abastecimiento de servicios básicos en muchas comunidades aisladas.

La principal actividad industrial es la minería, que ha sido fuente del crecimiento en poblaciones urbanas recientemente, aumentando la demanda de servicios básicos y el costo de vida. El PIB per capita en la capital minera de Antofagasta triplica cómodamente el promedio nacional. La minería, también, ha profundizado los problemas de disponibilidad de agua en el área, por lo que las plantas de desalinización son cada vez más comunes. Otras actividades económicas en la región incluyen la pesca, el turismo, el comercio y los servicios. El Norte Grande depende, predominantemente, del gas (47%) y el carbón (45%) para la generación de electricidad. Como se muestra en el siguiente mapa, sin embargo, un cierto número de proyectos solares aprobados se encuentran en proceso de instalación.



XV. Arica y Parinacota
I. Tarapacá
II. Antofagasta

Los niveles de energía undimotriz son menores que en el resto de Chile, sin embargo, son lo suficientemente altos para la generación de energía, desde 20 kW/m hasta 25 kW/h. Es probable que el costo de instalación y mantenimiento de los equipos marinos sea menor en estas condiciones más favorables. El Norte Grande cuenta con una línea costera de aproximadamente 1.242 km con pocas bahías o ensenadas importantes. En alta mar, el lecho marino cae abruptamente, con una franja relativamente estrecha donde la profundidad no supera los 100 m, lo que las hace adecuadas para el anclaje de dispositivos de energía undimotriz. Sin embargo, el área total de dicha zona se aproxima a los 5.000 km². No existen recursos mareomotrices significativos.

8.2.2 Marco normativo

Las regiones de Arica, Parinacota y Tarapacá son zonas de libre comercio designadas y (junto con las regiones de Magallanes, Aysén y partes de Los Lagos) gozan de exención de impuestos. Ver Figura 40 en página 90.

El plan para Arica consta de una reducción de impuesto de hasta el 40% para la inversión en actividades productoras, y se encuentra en marcha en la región de Arica y Parinacota. Este mecanismo apunta a atraer industrias extranjeras para que utilicen la región como un centro de desarrollo industrial para el mercado de Sudamérica. Además de la liberación de impuesto del 40%, se simplificarán las formalidades aduaneras y el pago de tasas de importación y exportación.

La región de Antofagasta no es parte de la zona de libre comercio, pero existen planes que permiten que parte de la recaudación de impuestos obtenida de la minería se invierta en la región (en este momento, más del 85% de la recaudación de impuestos en el Norte Grande se invierte en las regiones del centro y sur).

Todas estas iniciativas tienen el potencial de sustentar el desarrollo de proyectos de energía marina en la región, y ya presentan efectos positivos de rentabilidad en proyectos solares y eólicos.

8.2.3 Investigación, desarrollo y capacidad innovadora

En la actualidad, la Universidad de Tarapacá (Arica e Iquique) participa activamente en la investigación de la acuicultura y la pesca, y ha comenzado a trabajar en proyectos de energía renovable. Aunque se centra en la energía solar, el Centro de Estudios de Recursos Energéticos de la Universidad Arturo Prat de Iquique pretende incorporar la energía marina dentro de su espectro de futuras actividades. La Universidad de Antofagasta cuenta con un Centro de Desarrollo Energético que tiene por objetivo estudiar el potencial de la energía undimotriz del Norte Grande.

8.2.4 Infraestructura y cadena de suministro

La red eléctrica del Norte Grande (*Sistema Interconectado Norte Grande, SING*) no está conectada con el resto de Chile. El Norte Grande presenta un gran número de plantas de energía térmica ubicadas en la costa que abastecen proyectos mineros en el interior, por lo tanto, existen muchas conexiones directas entre los generadores grandes en la costa y los clientes en la zona interna, mientras que las conexiones entre las distintas comunidades es menos robusta. El gran número de subestaciones eléctricas cerca de la costa puede facilitar la conexión de los proyectos de energía marina.

También, son comunes las estaciones de desalinización y bombeo de agua con sus tuberías asociadas, que pueden transportar agua marina desalinizada o sin procesar por más de 1.000 km hacia el interior a más de 2.000 m de altura.

Las tres capitales regionales del Norte Grande son Arica, Iquique y Antofagasta, y todas presentan puertos de servicios generales. Los terminales de alta capacidad de Arica e Iquique pueden albergar cargueros post-panamax, mientras que el puerto de Tocopilla, también, tiene un tamaño adecuado para sustentar proyectos de energía marina. Iquique cuenta con la capacidad de astilleros suficiente para construir embarcaciones para pasajeros y cargamento, y posiblemente, para dispositivos de energía marina.

8.2.5 Mercados energéticos

La Figura 49 compara la capacidad instalada de generación actual en la red eléctrica SING (Central Energía, 2012) con una estimación de los recursos undimotrices totales y técnicos. Cabe señalar que no existen recursos mareomotrices significativos en esta región, sin embargo, el recurso undimotriz total supera con creces a la demanda de electricidad actual.

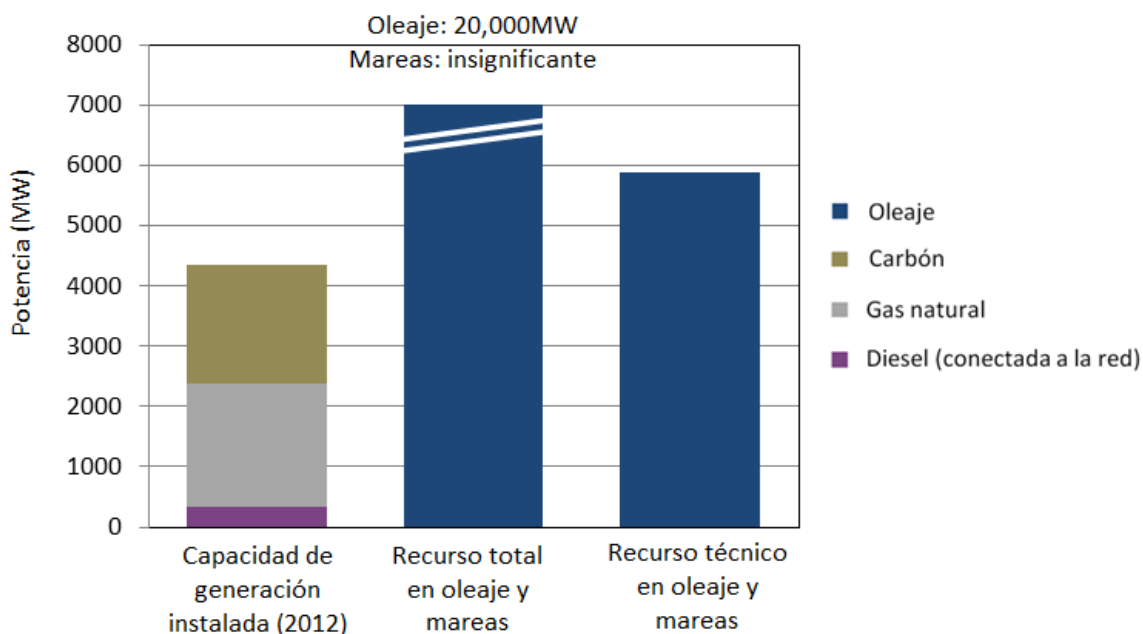


Figura 49: Comparación de la capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina (SING)

Asimismo, como se muestra en el mapa de Norte Grande proporcionado a continuación, existe un gran número de subestaciones costeras robustas con conexiones a la red eléctrica. Queda en evidencia que el potencial de energía undimotriz para suministrar la red eléctrica en Norte Grande es alto.

El Norte Grande presenta muchas caletas pesqueras, sitios para la acuicultura²⁴ y comunidades remotas que no están conectadas a la red, y dependen principalmente de la generación de energía mediante diesel para satisfacer la demanda energética.²⁵ Una parte importante de la población del Norte Grande reside en áreas en las que no se cuenta con acceso a la red eléctrica SING. La generación mediante diesel es costosa, y los costos de transporte hasta áreas remotas aumenta la carga económica en estas comunidades. Muchas de las comunidades aisladas en el Norte Grande están ubicadas en la costa, donde existe acceso inmediato a la energía undimotriz durante todo el año. Estas comunidades tienen la oportunidad de reemplazar o reducir la generación mediante diesel usando dispositivos de energía undimotriz como parte de un sistema renovable integrado, que, también, podría incluir energía solar. Los proyectos de energía undimotriz pueden complementar los proyectos de energía solar, de manera que la producción se mantenga durante las horas de oscuridad.

La minería es la principal actividad de la región, y consume una inmensa cantidad de agua dulce. En algunos casos, esta se obtiene de manera local, pero cada vez más agua marina sin tratar o desalinizada se bombea hacia el interior. Con el fin de conservar agua para la agricultura y el consumo de la comunidad, el Gobierno Regional de Arica y Parinacota aprobó una restricción en 2012, que solicita a las compañías mineras que satisfagan sus demandas de agua dulce solamente mediante desalinización.

Las plantas de desalinización que obtienen energía a partir de la energía undimotriz podrían abastecer con agua dulce o desalinizada a la industria minera según la disponibilidad de

²⁴ Estas granjas son generalmente de tilapia o dorado no de salmón como en el sur de Chile.

²⁵ Aquatera Ltd, Marine Energy Infrastructure Map of Chile, 2013

abastecimiento de agua dulce en la región de Chile. Ya se han puesto en marcha planes en Australia Occidental para desarrollar la primera planta de desalinización en el mundo a partir de energía undimotriz con cero emisión de dióxido de carbono, mediante la tecnología de energía undimotriz hidráulica CETO de Carnegie Wave Energy. La planta no solo desalinizaría el agua marina, sino que también, produciría electricidad que podría utilizarse para bombear agua a lo largo de grandes distancias.

También, existen ciertos procesos mineros que pueden emplear agua marina sin procesar (por ejemplo, como refrigerante o agente lixiviante). Algunas operaciones mineras emplean muchas decenas de miles de metros cúbicos de agua marina al día (consultar Tabla 8 en página 54). El transporte de agua marina mediante tuberías es costoso y consume mucha energía. Se están realizando grandes inversiones en plantas de desalinización, estaciones de bombeo y plantas de energía relacionadas para satisfacer las demandas de la industria minera, cuyo crecimiento continuará por mucho tiempo. Ciertos dispositivos de energía undimotriz hidráulicos (como CETO u Oyster de Aquamarine Power) pueden emplearse directamente para el bombeo de agua. Dada la gran y creciente demanda de la industria minera para satisfacer sus necesidades de energía, también como de agua marina desalinizada y sin tratar, se hace evidente que el mercado potencial para los proyectos de energía marina es bastante amplio.

8.2.6 Conclusiones: Norte Grande

Aunque los niveles de energía undimotriz en el Norte Grande son menores que en el resto de Chile, el régimen del oleaje es muy constante y es lo suficientemente fuerte para la generación de energía. Además, la instalación y el mantenimiento de equipos puede resultar un poco más sencillo (y, por lo tanto, menos costoso) en estas áreas relativamente favorables.

En el corto plazo, la demanda de agua y energía podría impulsar el desarrollo (posiblemente combinado) de pequeñas plantas de energía undimotriz y desalinización para comunidades aisladas. Este es un nicho de mercado dentro de la energía marina donde Chile podría convertirse en un actor principal y desarrollar un mercado extenso tanto nacional como internacional. En el mediano y largo plazo, se espera que la demanda de electricidad aumente debido al constante crecimiento de la actividad minera. El alto costo de la energía y el agua, en conjunto con beneficios impositivos y un entorno de operación más favorable, podrían anticipar la viabilidad de proyectos de energía undimotriz en el Norte Grande, en relación a las regiones del sur.

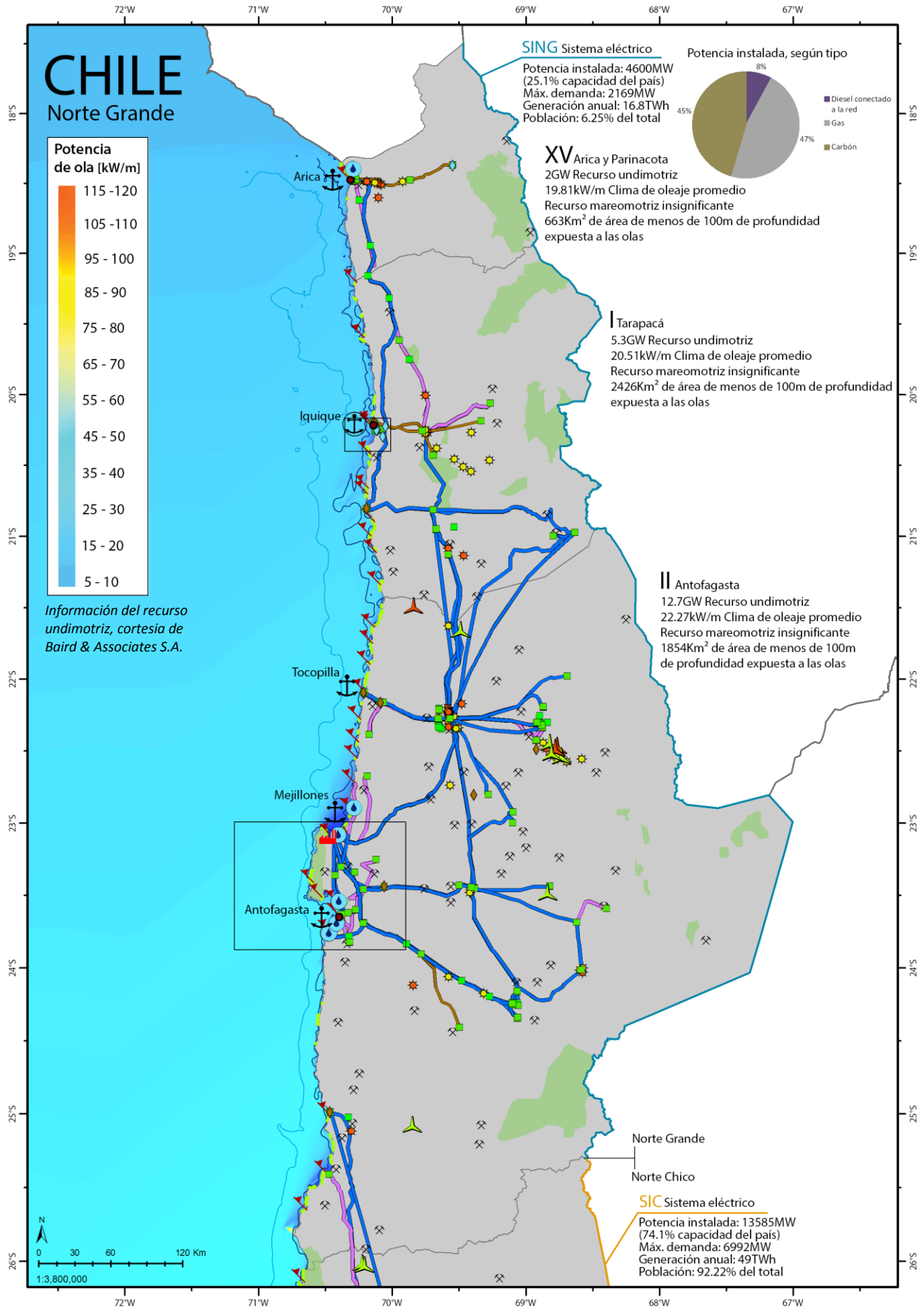
Recomendación 8-A: Desarrollo de la energía marina en Norte Grande

El **Gobierno regional de Arica y Parinacota y de Tarapacá y Antofagasta** podrían examinar las formas de promover el desarrollo de la energía marina en estas regiones, posiblemente apoyando los siguientes tipos de iniciativa:

- Una evaluación detallada del potencial de la energía marina en estas regiones.
- La identificación y designación de los emplazamientos más prometedores para el desarrollo, en coordinación con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero (**CRUBC**) y otras.
- Estudios de factibilidad de proyectos a escala industrial de desalinización y bombeo de agua de mar, conjuntamente con la industria minera y otros los usuarios del mar y el borde costero.
- Proyectos pilotos de energía undimotriz y desalinización a pequeña escala en sectores aisladas.

Gobiernos Regionales / CRUBC

Corto plazo



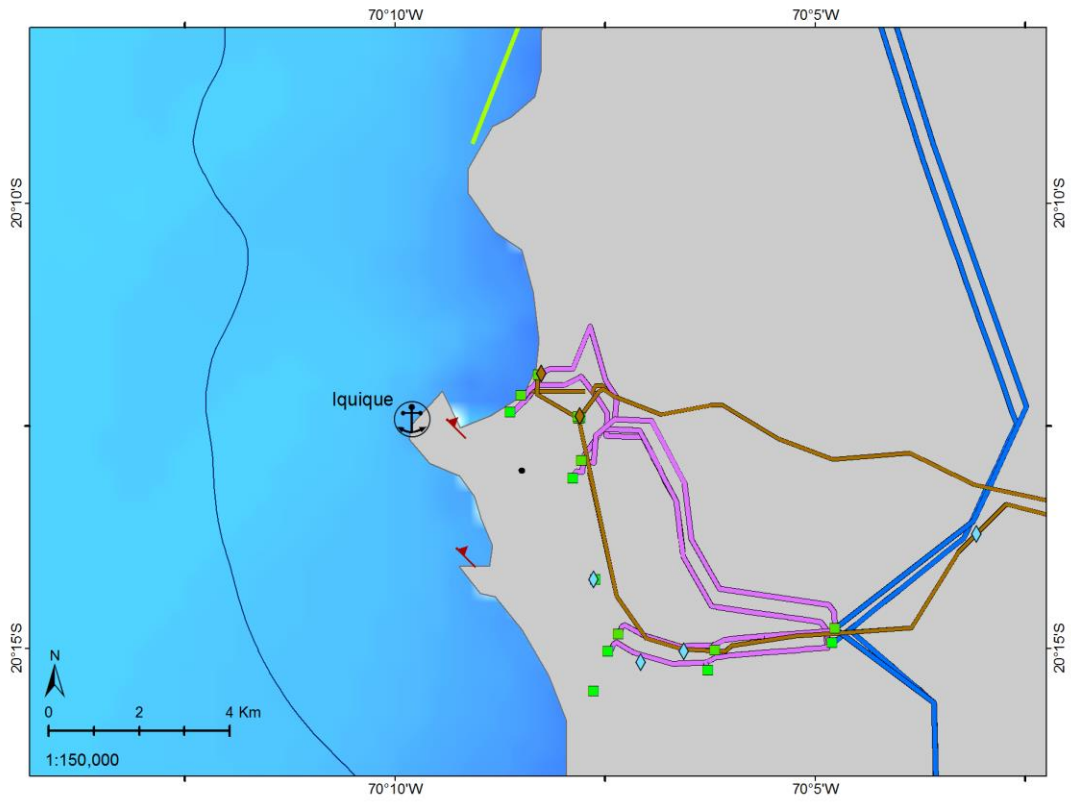


Figura 50: Norte Grande - Iquique

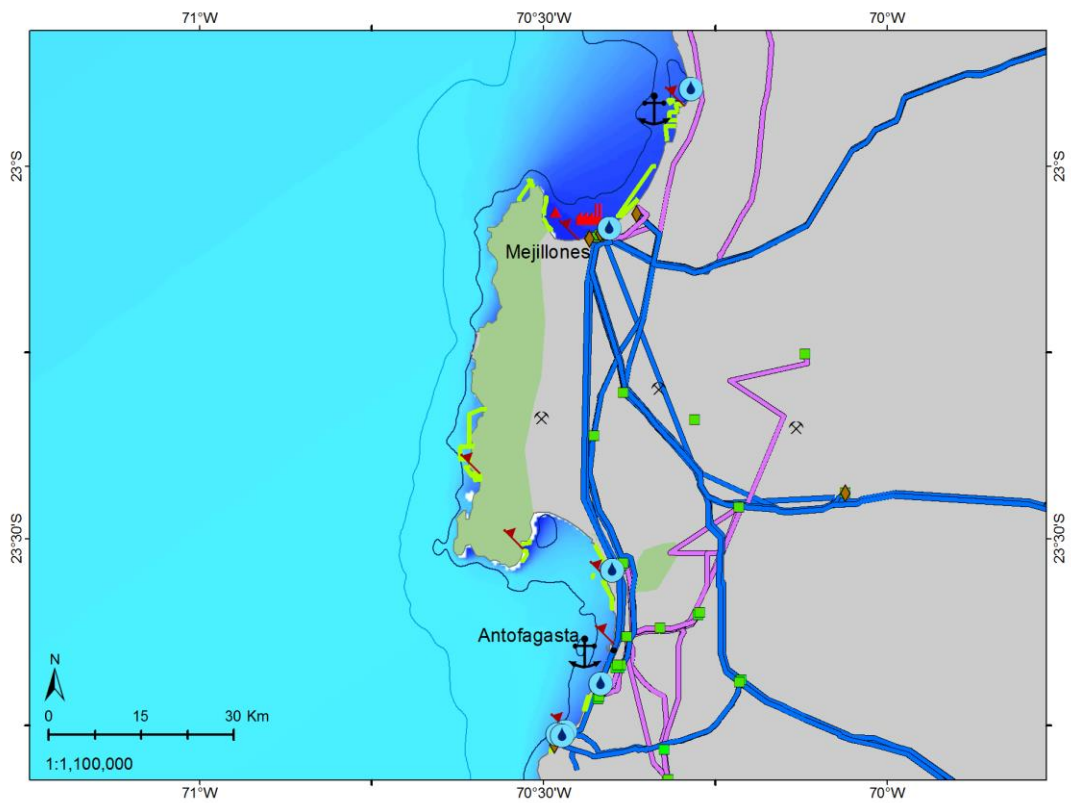


Figura 51: Norte Grande - Antofagasta

8.3 Norte Chico

8.3.1 Visión general

El Norte Chico incluye las regiones administrativas de Atacama y Coquimbo, y representa una zona de transición entre el desierto nortino y el clima mediterráneo de la zona central. El clima es semiárido, con valles productivos rodeados de grandes extensiones de tierras áridas. La densidad de población es relativamente baja, pero, igual que en el Norte Grande, hay una intensa actividad minera. La agricultura y el turismo, también, son importantes, y la producción acuícola (principalmente de algas marinas y mariscos) está creciendo. Un 84% de la población del Norte Chico (un total de un poco más de un millón de personas) vive en áreas urbanas, y el 16% restante vive en áreas rurales.

Los niveles de energía undimotriz varían de 25 a 31kW/m en el mar del Norte Chico, levemente más altos que en el Norte Grande. Hay aproximadamente 1.229 km de litoral expuesto, pero con una plataforma continental relativamente angosta, mientras que la profundidad del mar aumenta rápidamente a mayor distancia del litoral. En la parte sur del Norte Chico, el espacio de lecho marino es mayor, y además, se dispone de redes eléctricas (que forman parte del SIC) cerca de la costa. El área total de plataforma continental de bajas profundidades es de aproximadamente 3.300 km².

8.3.2 Marco regulatorio

El Norte Chico tiene acceso a los mismos recursos financieros administrados por el Gobierno central que las otras regiones de Chile, pero existen también, unos pocos instrumentos especiales de desarrollo regional o créditos fiscales.

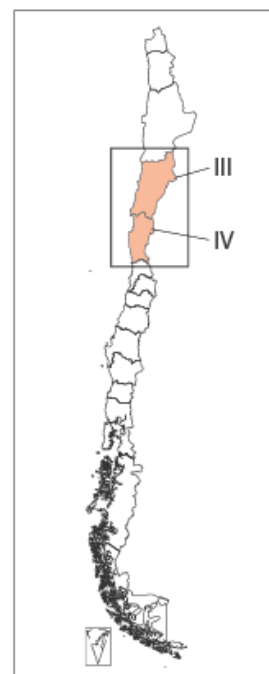
8.3.3 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

La Universidad de Atacama en Copiapó y la Universidad Católica del Norte en Coquimbo participan activamente en el desarrollo de energías renovables, especialmente la energía solar y eólica. Dichas instituciones, entre otras, han expresado interés en colaborar con otras universidades en el estudio del potencial energético undimotriz de esta zona.

8.3.4 Infraestructura y cadena de suministros

El Norte Chico se encuentra en el extremo norte de la principal red eléctrica central, el Sistema Interconectado Central (SIC). Tal como se muestra en el mapa a continuación, existen algunas subestaciones a lo largo de la costa sur del Norte Chico, además de una gran cantidad de proyectos de granjas eólicas.

El puerto de Coquimbo tiene servicio de remolcadores y otros servicios generales, lo mismo que - aunque en menor medida - los puertos de Caldera y Puerto Las Losas. Existen varios terminales portuarios industriales destinados a la exportación de minerales, pero estas instalaciones son especializadas y están equipadas con muelles con cintas transportadoras, que ofrecen poco potencial para apoyar a los proyectos de energía marina.



III. Atacama
IV. Coquimbo

8.3.5 Mercados energéticos

La Figura 52 compara la capacidad instalada de generación actual en la red eléctrica SIC (Central Energía, 2012) con una estimación de los recursos de energía undimotrices y mareomotrices totales y técnicos para la región de Norte Chico, Centro, Centro Sur y Los Lagos. Según las estimaciones, se puede observar que el recurso undimotriz técnico es mayor que la capacidad de generación actual. No se presentan recursos mareomotrices significativos en el Norte Chico.

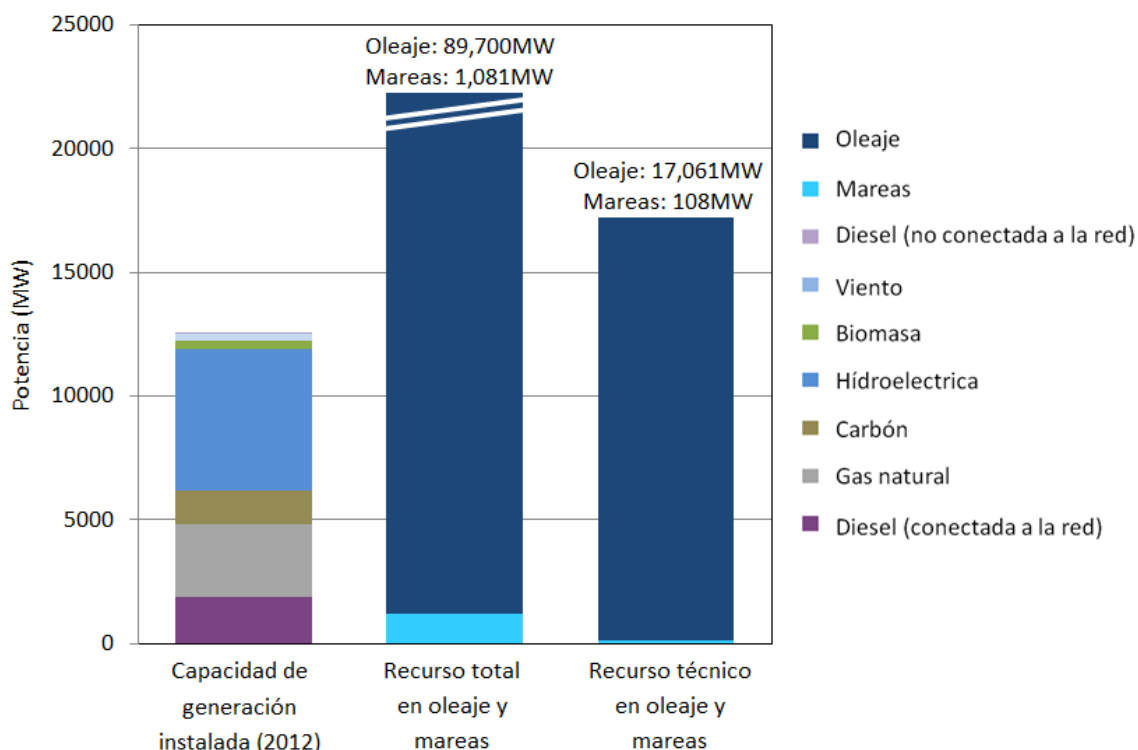


Figura 52: Comparación de la capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina en las regiones del SIC

La demanda de electricidad seguirá creciendo en el SIC, y ya existe una serie de subestaciones a lo largo del costa, además de puntos de conexión al SIC en el Norte Chico, que podrían ser utilizados para proyectos de energía marina (cabe mencionar la gran cantidad de granjas eólicas costeras. Ver mapa de Norte Chico a continuación).

De igual forma que en el Norte Grande, en el Norte Chico el sector minero es el principal consumidor de potencia eléctrica, y consume cantidades importantes de agua desalinizada y de agua marina sin tratar.

En el Norte Chico existen más de 50 caletas de pescadores (ver las banderitas rojas en el mapa a continuación), y la mayoría de ellas no cuenta con conexión a la red eléctrica. En la actualidad, estas localidades pesqueras aisladas dependen, en gran medida, de la costosa generación a base

de diesel para satisfacer sus necesidades energéticas²⁶. En muchas de estas localidades, el agua potable debe ser transportada por camión aljibe.

Una de las mayores plantas generadoras solares de Latinoamérica, “Amanecer Solar”, con una capacidad de 100 MW, será construida en Copiapó, en la región de Atacama, y tal como se muestra en el mapa a continuación, se ha aprobado la construcción de muchas otras granjas solares. Es posible que los proyectos de energía undimotriz lleguen a complementar la potencia eléctrica entregada por estas instalaciones solares, ya que la energía undimotriz sigue siendo generada durante las horas de oscuridad.

8.3.6 Conclusiones – Norte Chico

Además de la fuerte demanda de energía eléctrica, existe un enorme potencial para la energía undimotriz en la desalinización y el bombeo de agua marina para la industria minera del Norte Chico, al igual que en el Norte Grande.

El desarrollo de plantas pequeñas de energía undimotriz (posiblemente combinadas) para generar electricidad y desalinizar agua en comunidades aisladas, constituye un nicho de mercado que ha recibido relativamente poca atención, y que podría aportar al desarrollo económico de las comunidades aisladas, posiblemente mediante proyectos híbridos con otras fuentes de energía renovable.

A largo y mediano plazo, se proyecta que la demanda de electricidad aumentará debido al constante crecimiento de la actividad minera. Es probable que, a largo plazo, la Región de Coquimbo, debido a su cercanía a la zona central del país y sus niveles relativamente altos de energía undimotriz, será una ciudad candidata para desarrollar iniciativas a gran escala de energía eléctrica undimotriz conectada al SIC.

Recomendación 8-B: Desarrollo de energía marina en el Norte Chico

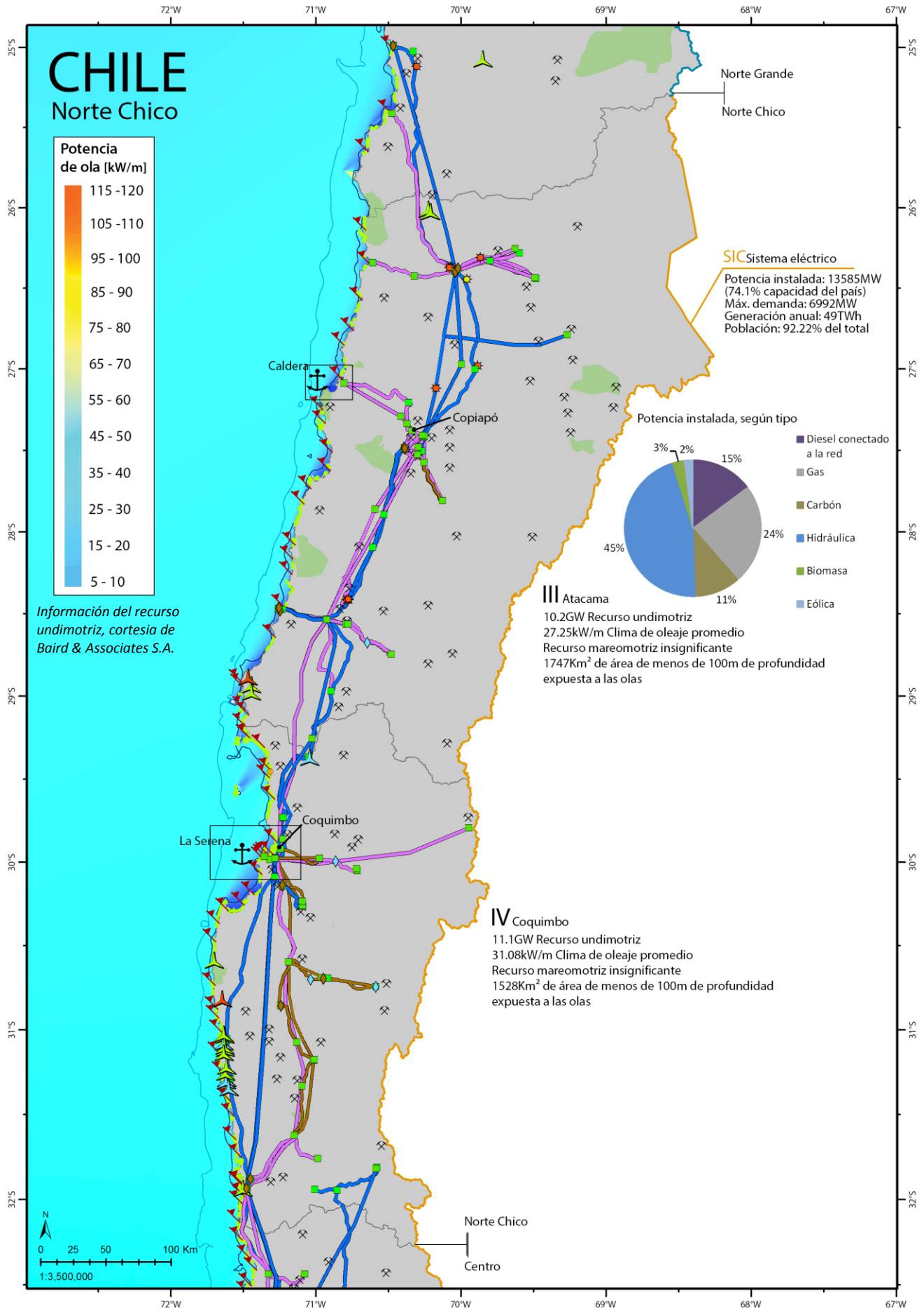
Los **Gobiernos Regionales de Atacama y Coquimbo** podrían examinar las formas de promover el desarrollo de la energía marina en dichas regiones, posiblemente apoyando los siguientes tipos de iniciativas:

- Una evaluación detallada del potencial energético-marino de estas regiones, con vistas a identificar y reservar los emplazamientos más prometedores para el desarrollo, en forma coordinada con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero (**CRUBC**) y otras.
- Estudios de factibilidad de proyectos a escala industrial de energía undimotriz para la desalinización o el bombeo de agua de mar, conjuntamente con la industria minera y otros usuarios del mar y el borde costero.
- Proyectos pilotos de energía undimotriz a pequeña escala, para electricidad y desalinización en sectores aislados.

Gobiernos Regionales / CRUBC

Corto plazo

²⁶ <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/2012/cuadros/122.pdf>



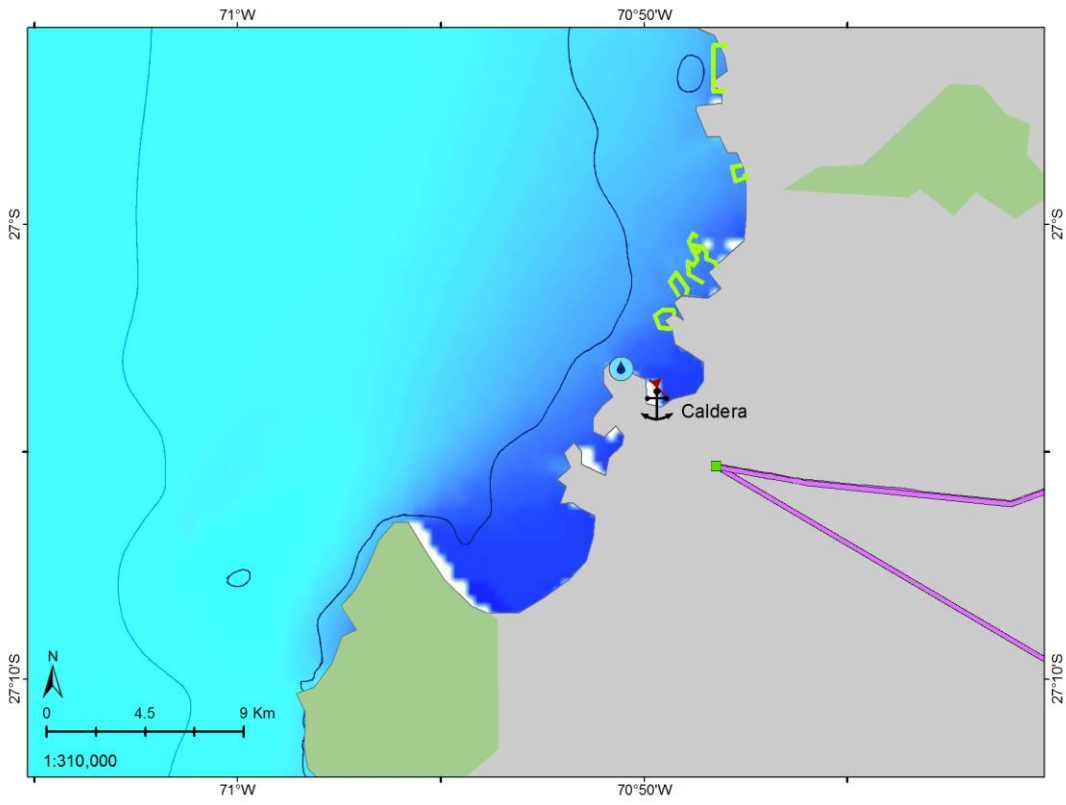


Figura 53: Norte Chico - Caldera

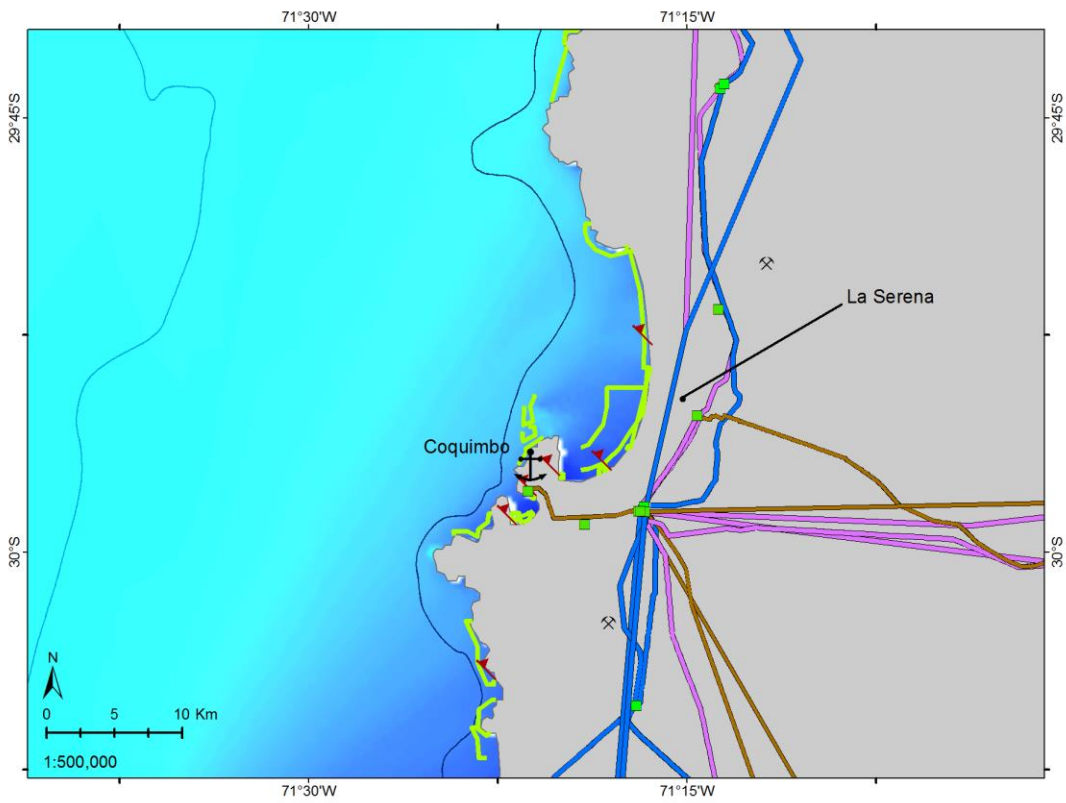


Figura 54: Norte Chico - Coquimbo

8.4 Chile Central

8.4.1 Visión general

Chile Central (Centro), incluye las regiones de Valparaíso, Región Metropolitana (RM) y O'Higgins. La región de Valparaíso, también, incorpora a los territorios insulares chilenos en el Pacífico. Al final del presente capítulo se presenta un apartado dedicado a estas islas.

El clima de esta zona es de tipo mediterráneo, y la densidad de población es alta. Casi diez millones de personas viven en esta zona – más de la mitad de la población del país. De ellos, un 7% vive en áreas rurales²⁷, y en la región de O'Higgins se distribuyen varias comunidades costeras relativamente aisladas. En la Región Metropolitana se concentra una gran variedad de empresas industriales y proveedoras de servicios. El resto de la actividad económica corresponde en gran parte a la agricultura, las agroindustrias y el turismo.

Esta zona representa una gran parte del consumo eléctrico de la red SIC, aunque es responsable sólo de una pequeña parte de la generación de potencia eléctrica a partir de centrales térmicas. El nivel de energía del recurso undimotriz es moderadamente alto, en un rango de 36 a 41 kW/m. Sin embargo, cabe mencionar que los numerosos promontorios existentes en esta costa causan bloqueo de olas e impiden que parte del oleaje proveniente del sur-poniente llegue a las costas más al norte de esta zona (ver mapas a continuación). No existen corrientes de marea significativas.

Chile Central tiene un litoral expuesto al oleaje de aproximadamente 468 Km en las Regiones de Valparaíso y O'Higgins (la Región Metropolitana es la única región de Chile sin litoral marítimo). Este litoral tiene una plataforma continental angosta, de unos 2.175 Km², cuya profundidad es de menos de 100 m en promedio, a medida que el lecho marino cae abruptamente en altamar.

Esta zona depende de una combinación de generación eléctrica térmica e hidroeléctrica, con 20 centrales térmicas y 29 hidroeléctricas, además de cuatro granjas eólicas en Valparaíso y O'Higgins²⁸.

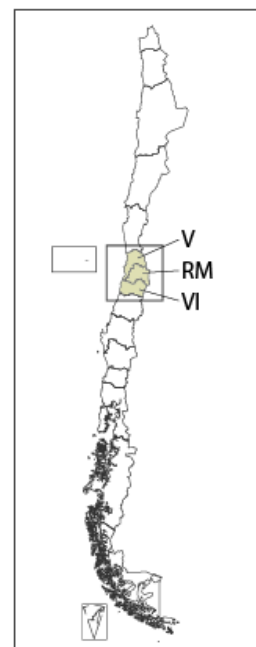
8.4.2 Marco regulatorio

Chile Central tiene acceso a los mismos recursos financieros administrados por el Gobierno central que las otras Regiones de Chile, pero existen también, unos pocos instrumentos especiales de desarrollo regional o créditos fiscales que serían aplicables a proyectos de energía marina. Existen ciertas ventajas de orden logístico y otras, que dicen relación con la cercanía geográfica a Santiago, la capital financiera y administrativa del país.

8.4.3 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

Muchas de las principales universidades y centros de I+D+i se encuentran ubicados en Chile Central, incluyendo a varias de estas instituciones que desarrollan actividades de investigación en energía marina. Se dan ejemplos a continuación:

- Universidad Técnica Federico Santa María (redes electrónicas y eléctricas);
- Universidad Católica de Valparaíso (recursos energéticos y oceanografía);



V. Valparaíso
RM. Región Metropolitana
VI. Libertador Gral.
Bernardo O'Higgins

²⁷ http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2012/estadisticas_demograficas_2012.pdf

²⁸ Datos de GIS proporcionados por el Ministerio de Energía de Chile

- Universidad de Valparaíso (ingeniería oceánica, instalación de dispositivos energéticos);
- Universidad de Chile (estudios en energías renovables, ingeniería eléctrica);
- Universidad Católica de Chile (modelación de recursos, evaluación ambiental);
- Universidad Adolfo Ibáñez (centro de innovación en energía, presentaciones sobre energía marina);
- Instituto Nacional de Hidráulica (INH), (uno de los socios del proyecto de evaluación de recursos undimotrices y mareomotrices);
- Otros centros de I+D+i aplicada, tales como DICTUC y CASIM, también, han realizado actividades relacionadas con proyectos de energía marina.

8.4.4 Infraestructura y cadena de suministros

A lo largo de la costa de la Región de Valparaíso existe amplia capacidad de transmisión y distribución eléctrica (ver mapa a continuación). En el caso de la Región de O'Higgins, la conexión a la red eléctrica es limitada en el sector costero.

Valparaíso y San Antonio son puertos grandes y bien equipados. Hay disponibilidad de remolcadores y otras embarcaciones especializadas, astilleros, talleres de electrónica y mecánicos, servicios de buzos y otros servicios de ingeniería. La cercanía física a la capital de Chile conlleva muchas ventajas logísticas.

8.4.5 Mercados energéticos

El principal mercado energético de la Región de Valparaíso corresponde, probablemente, a la generación de electricidad conectada a la red, mientras que en la Región de O'Higgins los usuarios directos, probablemente, son un factor de mayor importancia, por lo menos hasta que se desarrolle el sistema interconectado (ver mapa a continuación). Además, en la región de O'Higgins se emplaza una cantidad de comunidades costeras y caletas de pescadores, en las cuales la energía undimotriz podría ser usada localmente.

La Figura 52 en la página 111 compara la capacidad instalada de generación actual en la red eléctrica SIC (Central Energía, 2012) con una estimación de los recursos de energía undimotrices y mareomotrices totales y técnicos para la región de Norte Chico, Centro, Centro Sur y Los Lagos. El recurso undimotriz técnico en el SIC es mayor que la demanda eléctrica actual. No se presentan recursos mareomotrices significativos en Chile Central.

8.4.6 Conclusiones – Chile Central

La Zona Central de Chile ciertamente jugará un papel clave en el desarrollo de la cadena nacional de suministros para la energía marina y sus dispositivos: estructuras, y componentes podrían ser fabricados en esta zona. Se requiere de planificación coordinada entre el sector público y el sector privado para promover el desarrollo de la industria local (ver Capítulo Infraestructura y cadena de suministro).

En vista de la alta densidad de población y la gran intensidad de la actividad marítima y costera de esta zona, el desafío primordial sería identificar y reservar aquellas áreas que ofrecen el mayor potencial para el desarrollo de la energía undimotriz (ver la Sección 4.5, Planificación del espacio marino).

Recomendación 8-C: Desarrollo de la energía marina en Chile Central

Los **Gobiernos Regionales de Valparaíso y O'Higgins** podrían encargar una evaluación detallada del potencial energético-marino de estas regiones, con el fin de identificar y reservar los emplazamientos más prometedores, conjuntamente con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero (**CRUBC**) y otros actores.

La planificación de la infraestructura y de la cadena de suministros para la energía marina (ver la Sección 6.2.2) pareciera ser una prioridad para apoyar el desarrollo de la energía marina en esta zona, incluyendo la **Región Metropolitana (RM)**.

Gobiernos Regionales de Valparaíso, RM y O'Higgins / CRUBC

Corto plazo

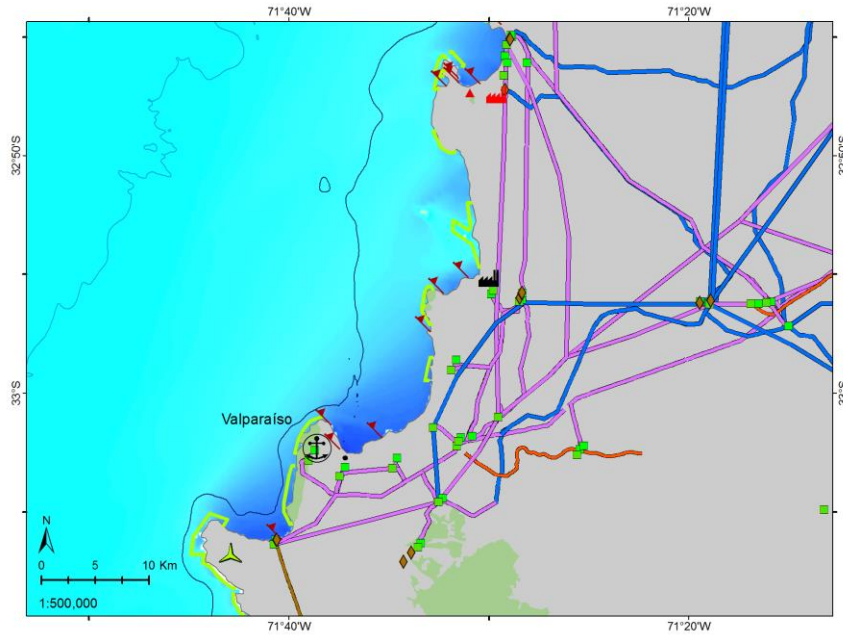


Figura 55: Chile Central:- Valparaíso

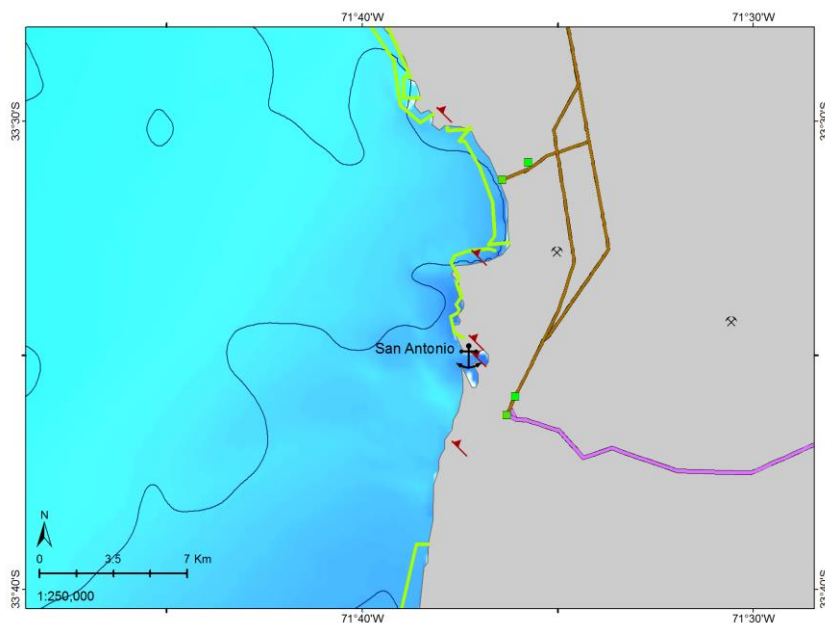
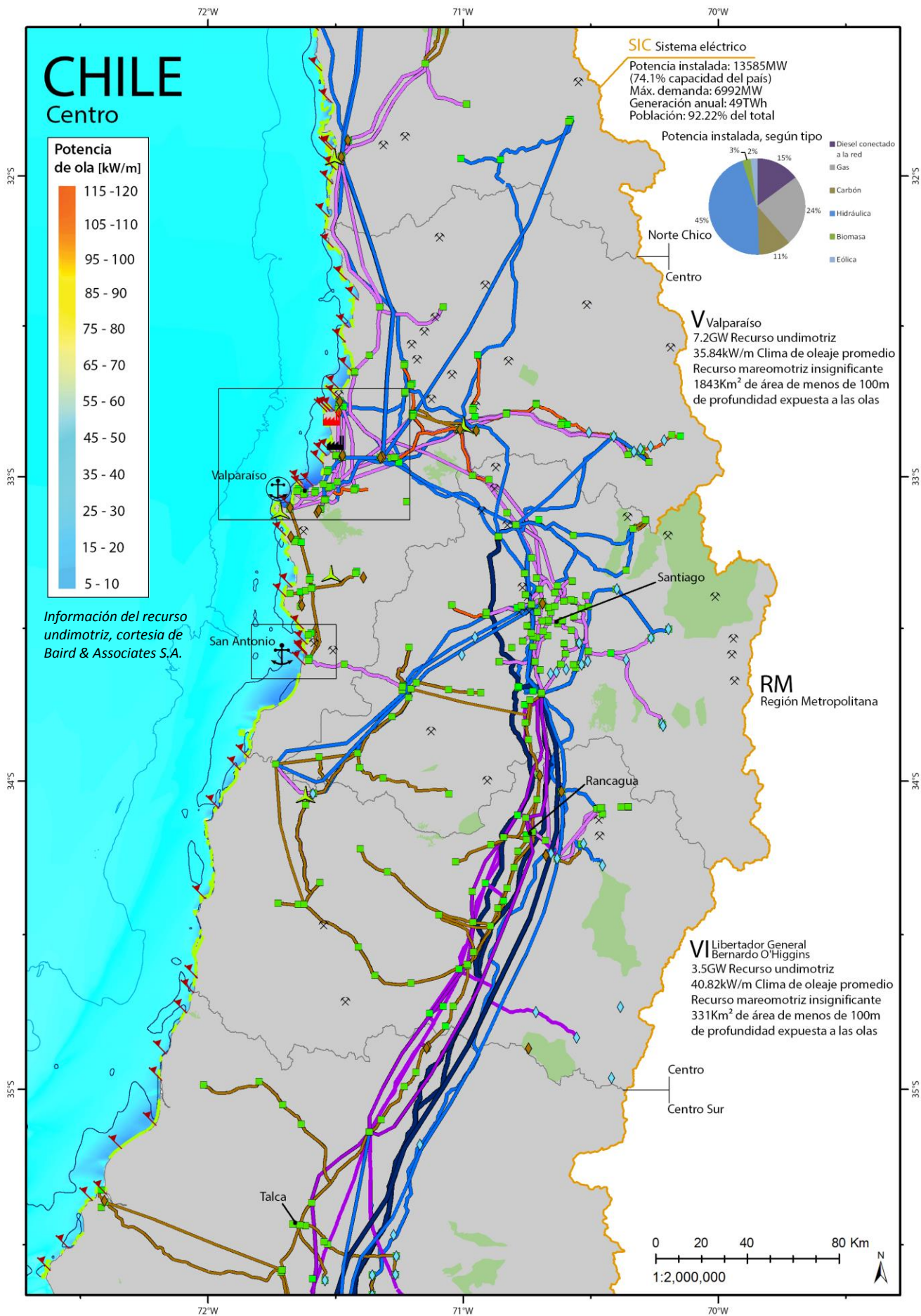


Figura 56: Chile Central:- San Antonio



8.4.7 Territorios insulares en el Pacífico

Los territorios insulares de Chile en el Pacífico le corresponden a la región administrativa de Valparaíso. Isla de Pascua y el archipiélago de Juan Fernández ambos tienen una población permanente. La población de Isla de Pascua es de casi 6.000 personas, mientras que en Robinson Crusoe viven unas 800 personas. Sin embargo, durante la estación turística²⁹ se presenta un aumento considerable de la población. Se registra un total de 7 caletas de pescadores en las islas chilenas en el Pacífico. Isla de Pascua tiene un puerto de tamaño considerable, que cuenta con remolcadores que podrían apoyar las operaciones marinas de eventuales proyectos undimotrices y mareomotrices.

Los recursos energéticos undimotrices estimados son de 45 a 55KW/m para Isla de Pascua y de 50 a 60KW/m para Robinson Crusoe (ver Figura 57) Existe un posible emplazamiento mareomotriz entre la Isla Santa Clara y Robinson Crusoe, con una corriente de marea de aproximadamente 2m/s y un recurso energético mareomotriz estimado de unos 12 MW.

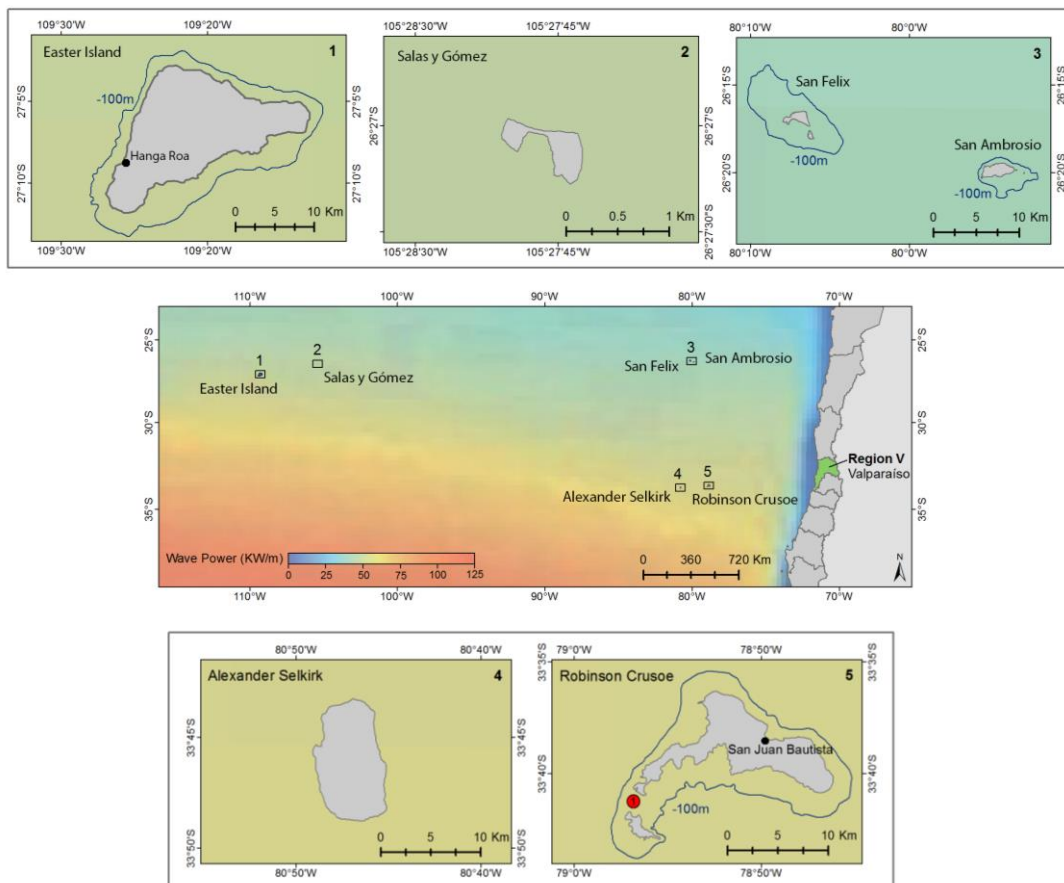


Figura 57: Territorios insulares de Chile en el Pacífico

Ambas islas dependen del diesel para generar electricidad, con una potencia instalada total de 4.9MW en Isla de Pascua y 1MW en Robinson Crusoe. En Isla de Pascua la electricidad es

²⁹ <http://www.inevalparaiso.cl/archivos/files/pdf/Censo2012/Minuta%20Ejecutiva%20Censo2012.pdf>

suministrada por SASIPA (*Agrícola y Servicios Isla de Pascua*) y en Robinson Crusoe, la electricidad para la población de San Juan Bautista es suministrada por tres generadores diesel con una capacidad total instalada de 1 MW³⁰.

Debido a la existencia del patrimonio arqueológico protegido de Isla de Pascua, es posible que se impongan limitaciones sobre las obras de infraestructura costera (por ejemplo, para transformadores o la llegada de cableado a la costa). En Robinson Crusoe tendrá, el Ministerio de Energía ha evaluado un proyecto de energía eólica, así como también, una propuesta para el desarrollo de un proyecto de energía mareomotriz.

Los territorios insulares chilenos en el Pacífico poseen un excelente potencial undimotriz, y Robinson Crusoe tiene, además, recursos mareomotrices (ver mapa anterior). En la actualidad, para la generación de electricidad estas islas dependen mayormente de diesel, que debe ser transportado en barco, a altos costos. Estas islas distantes ofrecen una excepcional oportunidad para desarrollar proyectos de energía marina a escala comunitaria, y además, cuentan con subsidios específicos que podrían beneficiar a los proyectos de energía marina o a los estudios correspondientes, para impulsar la transición desde diesel a la generación de energía renovable.

Recomendación 8-D: Desarrollo de la energía marina en las islas chilenas del Pacífico

El **Gobierno Regional de Valparaíso** podría encargar un estudio sobre el potencial de la energía marina para reemplazar el consumo de diesel en Isla de Pascua y el archipiélago Juan Fernández, posiblemente como parte de un paquete integral de energías renovables, con respaldo de generación eléctrica a base de diesel.

Gobierno Regional de Valparaíso / SASIPA

Corto plazo

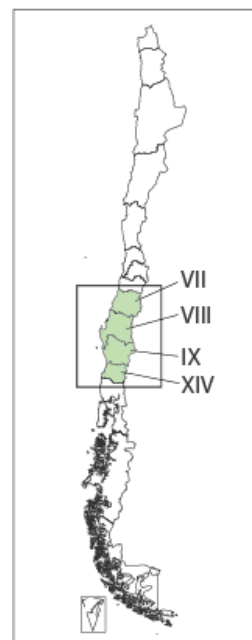
³⁰http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/16_energias_limpias/construccion_planta_eolica/index.html

8.5 Centro Sur

8.5.1 Visión general

La zona Centro Sur incluye las regiones administrativas de Maule, Biobío, Araucanía y Los Ríos. Esta zona tiene un clima templado y lluvioso, y constituye una transición entre el clima mediterráneo de la zona central y los bosques templados/lluviosos del extremo sur. Después de la Zona Central, el Centro Sur alberga la mayor cantidad de población, con un cuarto de la población del país y la tercera ciudad más grande de Chile, Concepción. La población de las cuatro regiones del Centro Sur es de unos 4,5 millones de habitantes, equivalente al 25,59% de la población total de Chile. Un 25% de la población vive en áreas rurales, lo que contrasta con Chile Central, donde la proporción es de un 7%³¹.

En esta zona se presenta un nivel significativo de actividad industrial, especialmente en la Región del Biobío, donde existe producción siderúrgica. Las otras actividades incluyen la agricultura, la agroindustria, el sector forestal y la producción de celulosa, la pesca y el turismo. En la zona Centro Sur se ubica la mayor parte de la capacidad de generación hidroeléctrica de Chile. Gran parte de esta potencia es transmitida para ser consumida en la Zona Central.



VII. Maule
VIII. Biobío
IX. Araucanía
XIV. Los Ríos

Los niveles de energía undimotriz son altos y se estiman entre 46 y 61KW/m. El Centro Sur posee un litoral expuesto de 1195 km aproximadamente, con una ancha plataforma de suelo marino cuyas profundidades son de menos de 100 m en promedio (18.500 km²). Sin embargo, en esta región el efecto de bloqueo de oleaje de diversas islas y promontorios reduce considerablemente el potencial undimotriz en esta región (ver las áreas cercanas a Concepción en el mapa a continuación). En general, no existen fuertes corrientes de marea, aunque se estima que existen alrededor de 14MW de recursos mareomotrices cerca de la Isla Santa María y otras áreas en el Golfo de Arauco. que podrían ser suficientes para algunos dispositivos mareomotrices de bajo caudal.

8.5.2 Marco regulatorio

El Centro Sur tiene poco acceso a instrumentos de desarrollo o créditos fiscales específicos. Sin embargo, los Gobiernos Regionales y algunas agencias técnicas locales en las Regiones del Biobío y Los Ríos han mostrado interés en estudiar el potencial ofrecido por la energía undimotriz en dichas regiones.

8.5.3 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

Los Departamentos de Oceanografía y Geofísica de la Universidad de Concepción (UC) realizan actividades de investigación en energía marina en forma activa, que incluye, por ejemplo, el desarrollo de radares de alta frecuencia que miden los recursos undimotrices y mareomotrices. Estos grupos de investigación en energía y medioambiente, también, poseen experiencia relevante en energía marina. Se dio lugar a un proyecto que se está desarrollando en la actualidad para modelar la propagación de virus desde los criaderos de salmón en Aysén, que posiblemente cuente con la mejor información disponible sobre las corrientes de marea en esta región. La Universidad Católica de la Santísima Concepción ha desarrollado un sistema de boyas

³¹ http://www.ine.cl/canales/menu/publicaciones/compendio_estadistico/pdf/2012/estadisticas_demograficas_2012.pdf

meteorológicas/oceanográficas. En Valdivia, la Universidad Austral se especializa en ingeniería naval y desarrolla actividades relacionadas con energía marina mediante proyectos de turbinas mareomotrices de bajo caudal y sistemas integrados de energías renovables para la acuicultura del salmón. Esta universidad posee un estanque de pruebas mareomotriz y otros centros de pruebas enfocados en energía y medioambiente, entre los que destaca el Centro Ballena Azul.

8.5.4 Infraestructura y cadena de suministros

La zona Centro Sur depende de una combinación de generación en centrales térmicas e hidroeléctricas, con 24 de las primeras y 49 de las últimas. En 2013 había 9 granjas eólicas en operación, ubicadas en las Regiones del Biobío y La Araucanía. La red eléctrica (SIC) está bien desarrollada entre la Región del Biobío y las áreas metropolitanas de más al norte, pero en más débil cerca de la costa. En Arauco, en la parte sur de la Región del Biobío, hay proyectos eólicos que han sufrido demoras o han sido cancelados debido a la falta de capacidad del SIC. Se proyectan mejoras del sistema de transmisión que deberían aliviar estos obstáculos de acceso al SIC para los distintos proyectos, pero para la energía undimotriz la falta de red eléctrica cerca de la costa podría representar un obstáculo para el desarrollo futuro en esta zona.

Las cuatro capitales regionales en la zona Centro Sur son Talca, Concepción, Temuco y Valdivia. Talcahuano es uno de los principales puertos del país, y cuenta con instalaciones adecuadas, astilleros, talleres y servicios especializados. ASMAR, los astilleros de la Armada, tiene sus instalaciones centrales en Talcahuano. En la Región del Biobío existe capacidad metalúrgica considerable, relacionada con la producción siderúrgica local. Valdivia posee un excelente puerto natural, en el cual se ubican los astilleros privados de ASENNAV, donde se construyen navíos modernos de alta capacidad, además, ASENNAV tiene vínculos con Universidad Austral. También, se encuentran servicios de remolcadores, talleres, y otros necesarios para el sector de la energía marina.

8.5.5 Mercados energéticos

La Figura 52 en la página 111 compara la capacidad instalada de generación actual en la red eléctrica SIC (Central Energía, 2012) con una estimación de los recursos de energía undimotrices y mareomotrices totales y técnicos para la Región de Norte Chico, Centro, Centro Sur y Los Lagos. El recurso undimotriz técnico en el SIC es mayor que la demanda eléctrica actual, y existen diversos emplazamientos adecuados en donde existe la posibilidad de conectar proyectos de energía undimotriz a la red eléctrica en la Zona Centro Sur (ver mapa a continuación).

La zona Centro Sur ostenta el mayor nivel de actividad pesquera del país, con un 31% de la pesca total, que está distribuida entre los puertos de Talcahuano, San Vicente y Coronel³². El Centro Sur, también, tiene la segunda mayor cantidad de caletas pesqueras del país, con un total de 119. Tanto los grandes puertos como las pequeñas caletas tienen altos niveles de demanda energética, especialmente para la refrigeración del pescado y/o producción de hielo. Tal como se ha mencionado en las otras regiones, el potencial de generación undimotriz es muy prometedor con vistas a reemplazar o reducir el consumo de diesel en estas localidades.

³² <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/default.htm>

8.5.6 Conclusiones – Centro Sur

El Centro Sur posee el potencial para convertirse en un centro manufacturero de dispositivos de energía marina y para el implementación de grandes granjas undimotrices conectadas al SIC. Entre Lebu y Valdivia el lecho marino desciende en forma más gradual que en la mayor parte del resto del país y, por lo tanto, los espacio para emplazar proyectos son de mayor magnitud, aunque sería más sencillo obtener acceso al SIC cerca de los centros poblados, y también, sería más fácil la identificación y designación de zonas prioritarias para el desarrollo de proyectos undimotrices.

Recomendación 8-E: Desarrollo de la energía marina en la Zona Centro Sur

Los **Gobiernos Regionales de Maule, Biobío, La Araucanía y Los Ríos** podrían identificar y reservar los emplazamientos más prometedores para la energía marina, en forma coordinada con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero (**CRUBC**) y consultando a otros usuarios del mar.

Los estudios de factibilidad y/o los proyectos pilotos para proyectos undimotrices sin conexión al SIC, podrían ser especialmente relevantes en las Regiones del **Maule y La Araucanía**, mientras que el desarrollo de la infraestructura y la cadena de suministros parece ser una prioridad en las Regiones del **Biobío y Los Ríos**.

Gobiernos Regionales/ CRUBC

Corto plazo

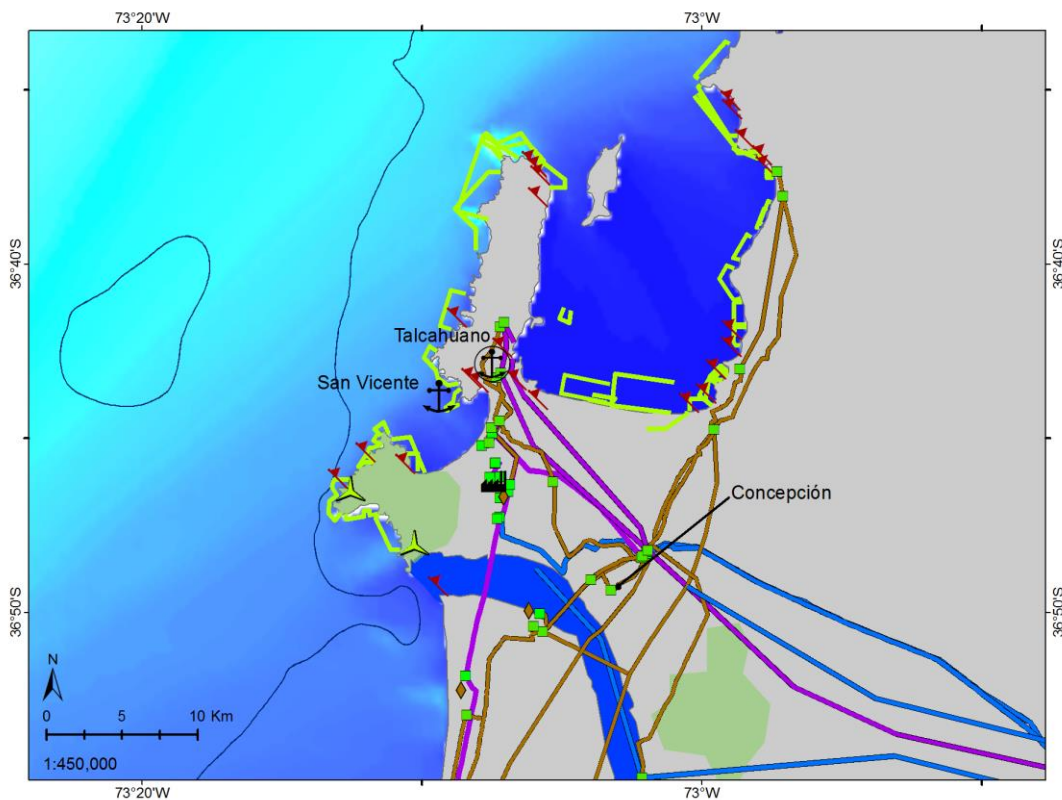
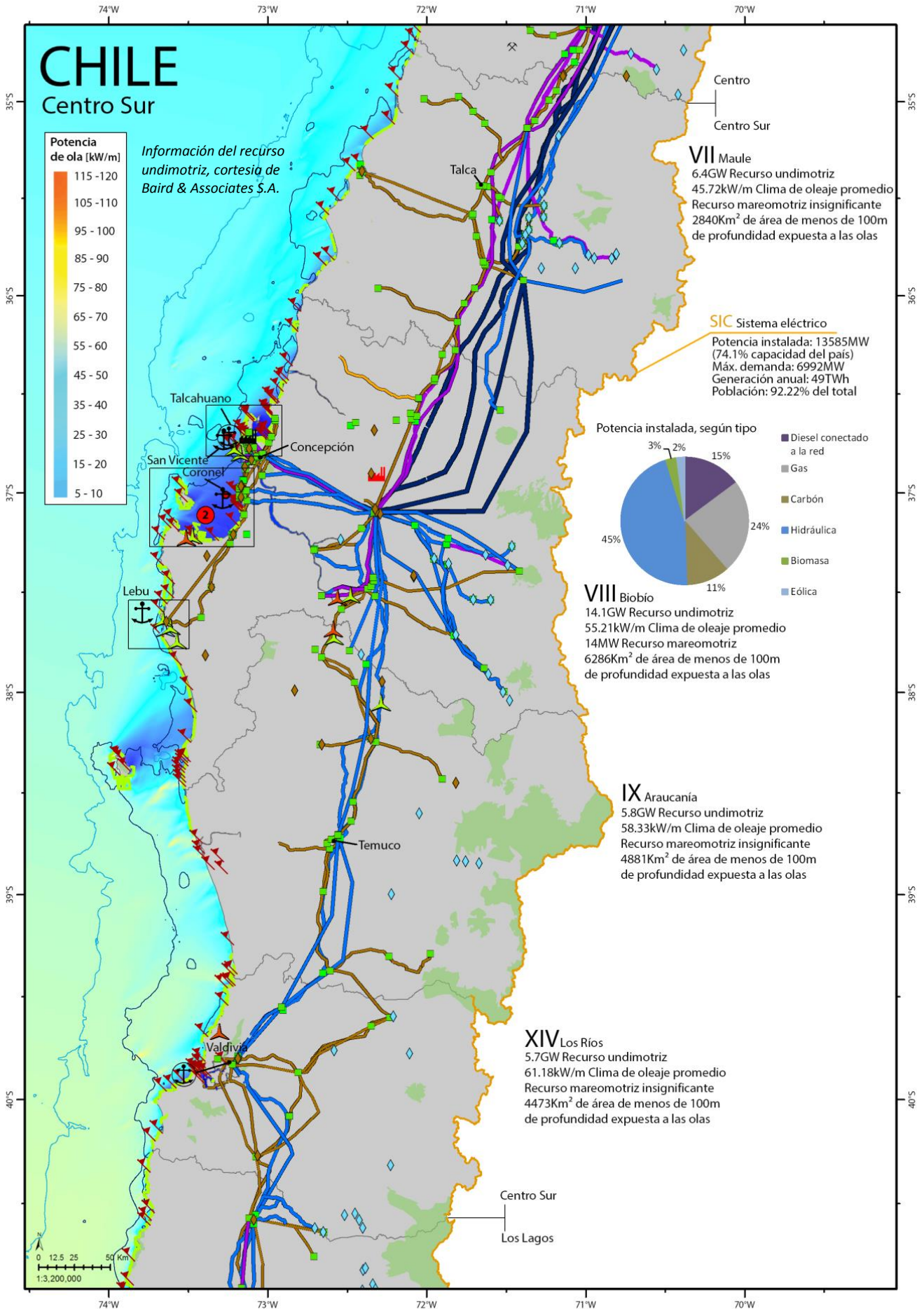


Figura 58: Centro Sur - Concepción/Talcahuano



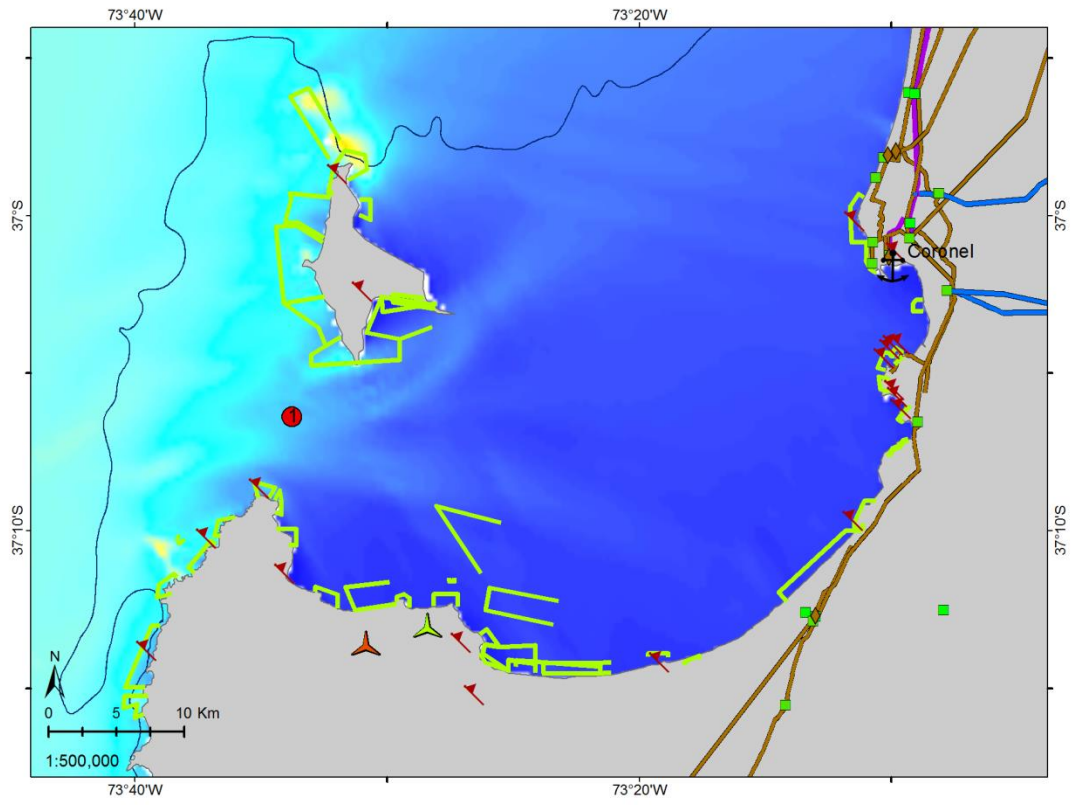


Figura 59: Centro Sur - Coronel

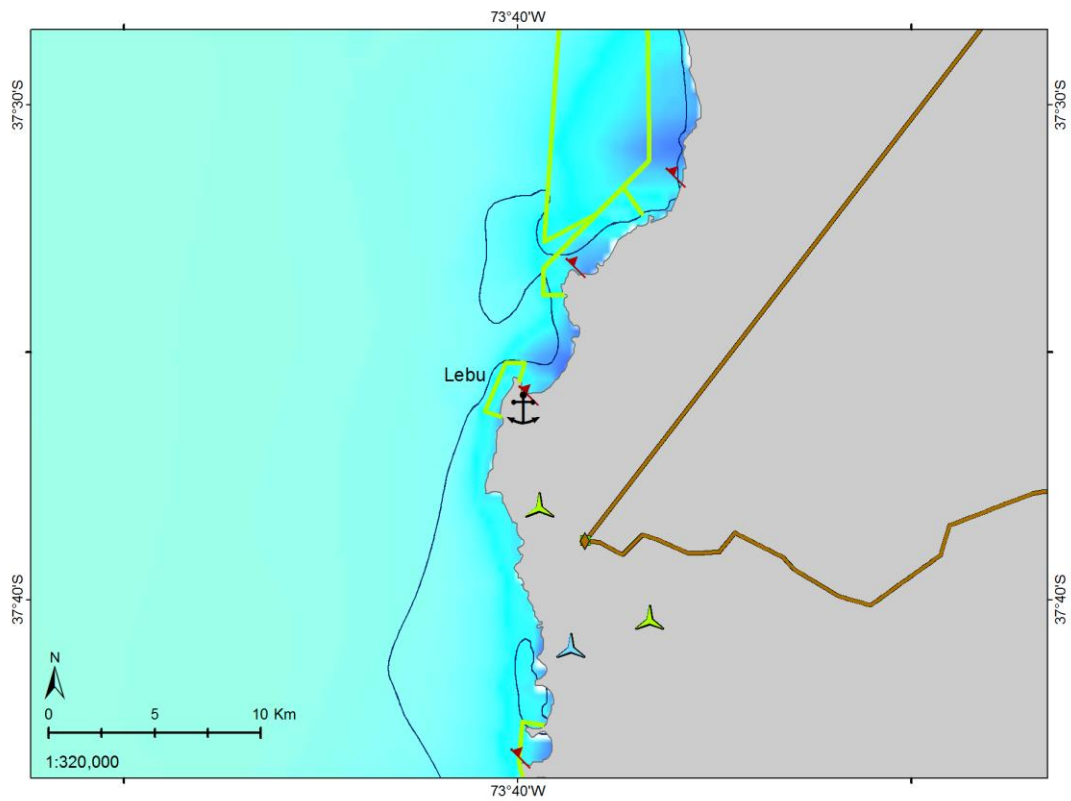


Figura 60: Centro Sur - Lebu

8.6 Los Lagos

8.6.1 Visión general

La Región de Los Lagos se ubica entre latitudes 40 y 44 Sur, y marca el comienzo de la transición entre Chile continental y una zona de fiordos, islas y canales. Tiene una población de aproximadamente 850.000, y las principales actividades son la acuicultura, la pesca, el sector forestal, la ganadería, las artesanías y el turismo. Alrededor de un 30% de la población vive en sectores rurales. El ambiente marítimo en Los Lagos es de importancia internacional, en gran parte debido a la presencia de especies como la Ballena Azul.

Los Lagos posee una costa expuesta al oleaje de aproximadamente 831 Km. La costa del archipiélago de Chiloé que está expuesta al Océano Pacífico tiene una plataforma continental ancha y poco profunda de 8.600 km², donde las profundidades del lecho marino son de menos de 100 m en promedio. Los niveles de energía undimotriz son muy altos: entre 71 y 87kW/m.

Los Lagos, también, tiene excelentes recursos mareomotrices, especialmente en el Canal de Chacao, pero también, en muchas otras ubicaciones en toda la región. HydroChile actualmente lidera un proyecto apoyado por FONDEF que evalúa el recurso mareomotriz y las condiciones medioambientales en el Canal de Chacao, donde el recurso total llega a 800 MW. El recurso estimado total de Los Lagos es de 1.067MW.

8.6.2 Marco regulatorio

El Gobierno Regional de Los Lagos tiene un presupuesto específico para estudios y proyectos de infraestructura que apoya a áreas remotas y/o económicamente vulnerables. Estos fondos podrían ser utilizados para apoyar el desarrollo de proyectos de energía marina en dichas áreas.

8.6.3 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

El Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos de Ambientes Costeros (I-Mar) depende de la Universidad de Los Lagos en Puerto Montt y realiza investigación medioambiental costera, con énfasis en la pesca y la acuicultura. La Fundación Huinay, también, ha completado una serie de estudios sobre los ecosistemas marinos de canales y fiordos en Los Lagos, y hay algunas organizaciones privadas que realizan trabajo de I+D+i para el sector de la acuicultura del salmón, entre otros. La Universidad Austral tiene instalaciones pertinentes en la región y realiza investigación medioambiental marina en el Canal de Chacao y más al sur.

8.6.4 Infraestructura y cadena de suministros

La principal generación de electricidad en Los Lagos proviene de 11 centrales hidroeléctricas y 6 centrales térmicas ubicadas en esta región. Además, hay 3 granjas eólicas, una en el continente y dos en la Isla de Chiloé. En la Región de Los Lagos prácticamente no existe capacidad de transmisión troncal en la costa que mira al Pacífico, y esto probablemente será un obstáculo para el desarrollo de proyectos de energía undimotriz en la región. Sin embargo, existen subestaciones adyacentes al segundo mayor recurso mareomotriz del país, que es el Canal de Chacao. El SIC, también, atraviesa dicho canal. Se proyecta la construcción de un puente vial que unirá Chiloé con el continente. Aún no está claro si sería posible incorporar turbinas mareomotrices en el diseño de



X. Los Lagos

este puente. Existe una significativa capacidad portuaria y de astilleros en Puerto Montt, que ofrece astilleros de tamaño mediano, talleres, servicios para motores marinos y electrónica marina, construcción de embarcaciones en acero y fibra de vidrio, remolcadores, equipos de buceo y de exploración, entre otros servicios. Ancud, Castro, Quellón y Calbuco son puertos más pequeños que podrían servir como centros de mantención liviana y de servicios para dispositivos pequeños de energía marina. Las instalaciones existentes de la industria de acuicultura podría apoyar los proyectos de energía marina, desde la etapa de identificación de emplazamiento y solicitud de permisos hasta la evaluación, diseño, fabricación y mantención de estructuras y equipos marinos.

8.6.5 Mercados energéticos

La Figura 52 en la página 111 compara la capacidad instalada de generación actual en la red eléctrica SIC (Central Energía, 2012) con una estimación de los recursos de energía undimotrices y mareomotrices totales y técnicos para la Región de Norte Chico, Centro, Centro Sur y Los Lagos. Se estima que el recurso undimotriz técnico en el SIC es mayor que la demanda eléctrica actual, y existen diversos emplazamientos adecuados en donde existe la posibilidad de conectar proyectos de energía undimotriz a la red eléctrica en la Zona de Los Lagos (ver mapa a continuación).

Existen muchas comunidades remotas y operaciones acuícolas distribuidas a lo largo de la costa de la Región de Los Lagos, que no están conectadas al SIC y que dependen de la costosa generación eléctrica a partir de diesel. Algunas de estas áreas, especialmente a lo largo de la costa de las Provincias de Chiloé y de Palena, están expuestas al oleaje o están cerca de corrientes de marea que ofrecen el potencial para ser usadas para la generación de potencia eléctrica. Los proyectos capaces de reemplazar o reducir la generación local en base a diesel, podrían llegar a ser competitivos antes que aquellos que buscan competir con los precios de la electricidad en el SIC. Existen más de 2.000 concesiones para la acuicultura en la Región de Los Lagos³³, el número más alto de Chile. Los Lagos, además, cuenta con más de 200 caletas pesqueras, el número más alto de todas las Regiones de Chile.

8.6.6 Conclusiones – Los Lagos

Los Lagos posee recursos tanto undimotrices como mareomotrices en abundancia, y la región ofrece el potencial de convertirse en un laboratorio natural para los ensayos de dispositivos undimotrices y mareomotrices. El Canal de Chacao representa el segundo recurso más importante de corrientes de marea en Chile, después del Estrecho de Magallanes, y los proyectos que se desarrollen aquí serán capaces de conectarse al SIC, el mayor sistema troncal de Chile. Será necesario esforzarse por diseñar un proyecto que sea medioambientalmente y socialmente aceptable. Los recursos mareomotrices en los muchos otros canales de esta zona, también, deben ser estudiados más a fondo.

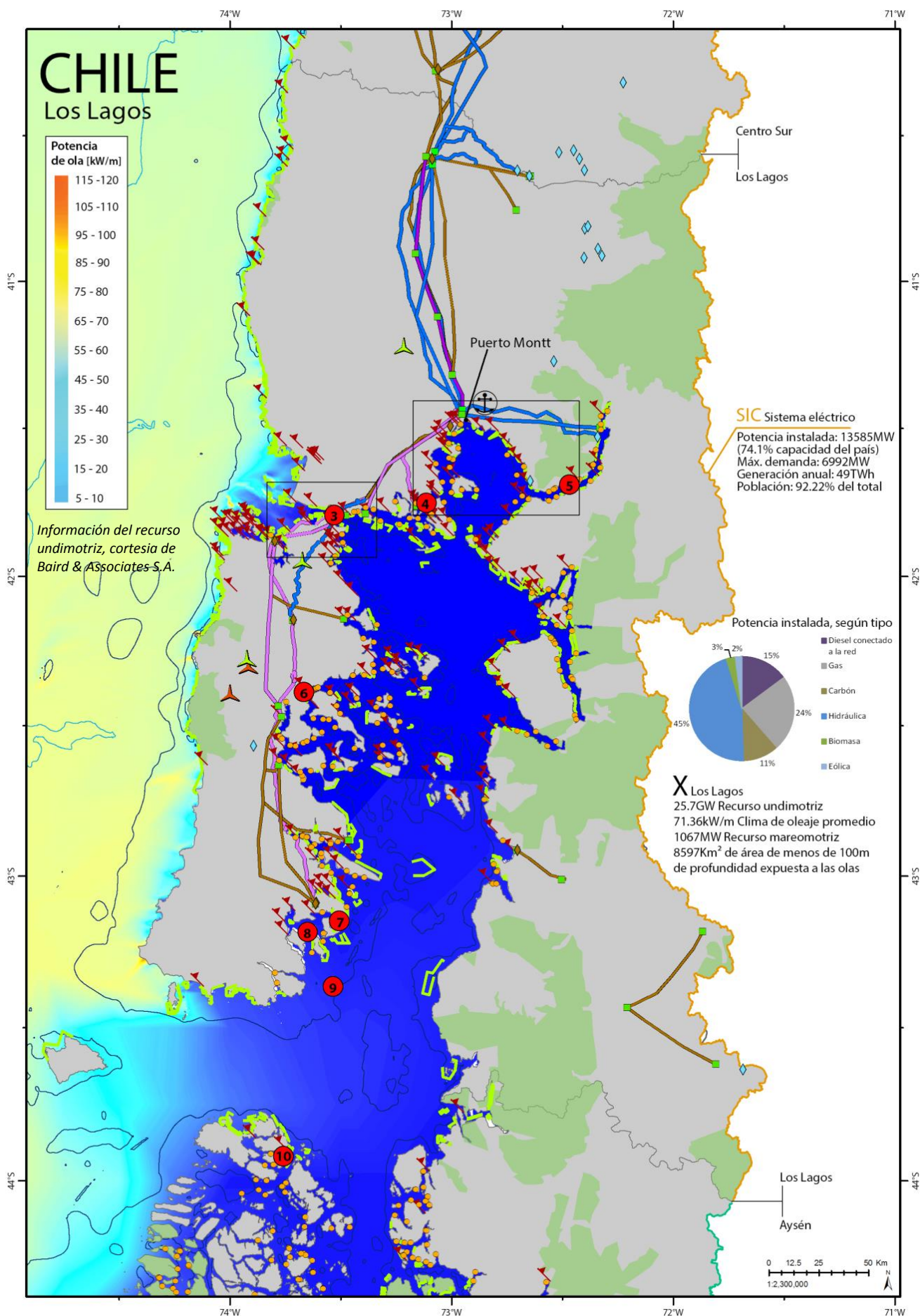
Recomendación 8-F: Desarrollo de la energía marina en Los Lagos

El **Gobierno Regional de Los Lagos** podría encargar un estudio sobre el potencial undimotriz y mareomotriz de la región, en vistas a desarrollar un plan estratégico de energía marina. Una implementación mareomotriz adecuada en el Canal de Chacao serviría como lugar de exposición del recurso energético marino en Chile. También, sería prioritario identificar y designar otros emplazamientos prometedores para la energía marina conjuntamente con la Comisión Regional de Uso de Borde Costero (**CRUBC**).

Gobierno Regional de Los Lagos / CRUBC

Corto plazo

³³ <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/default.htm>



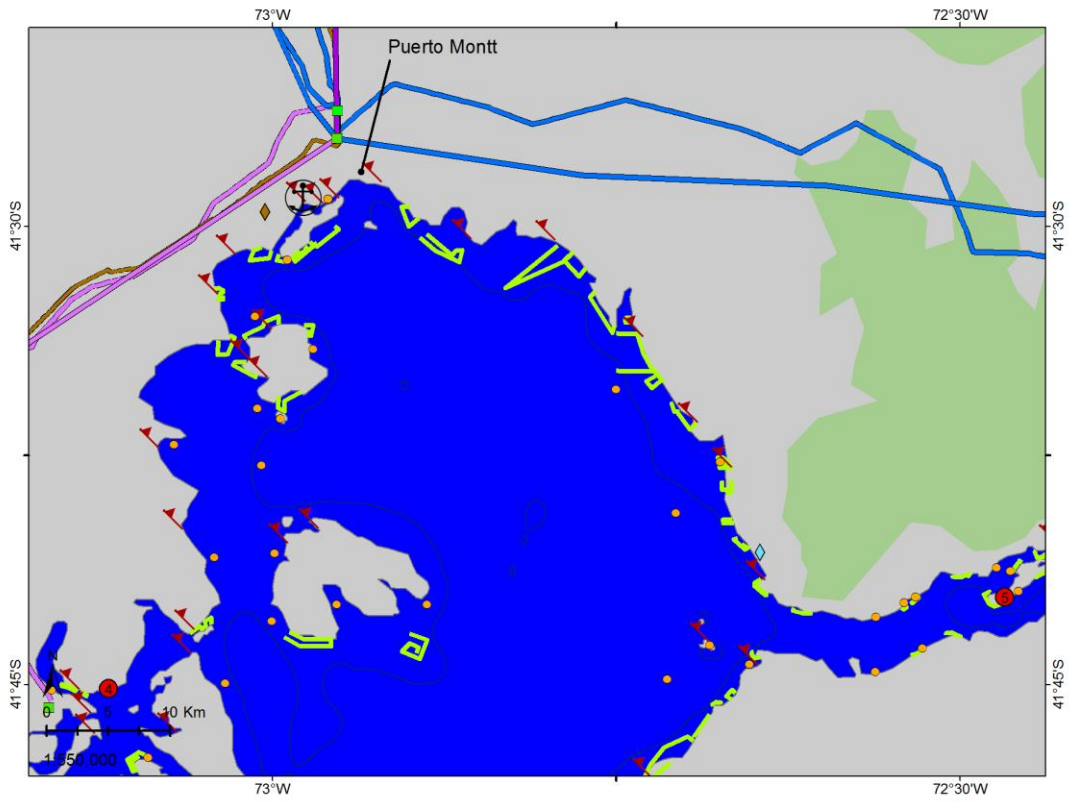


Figura 61: Los Lagos - Puerto Montt

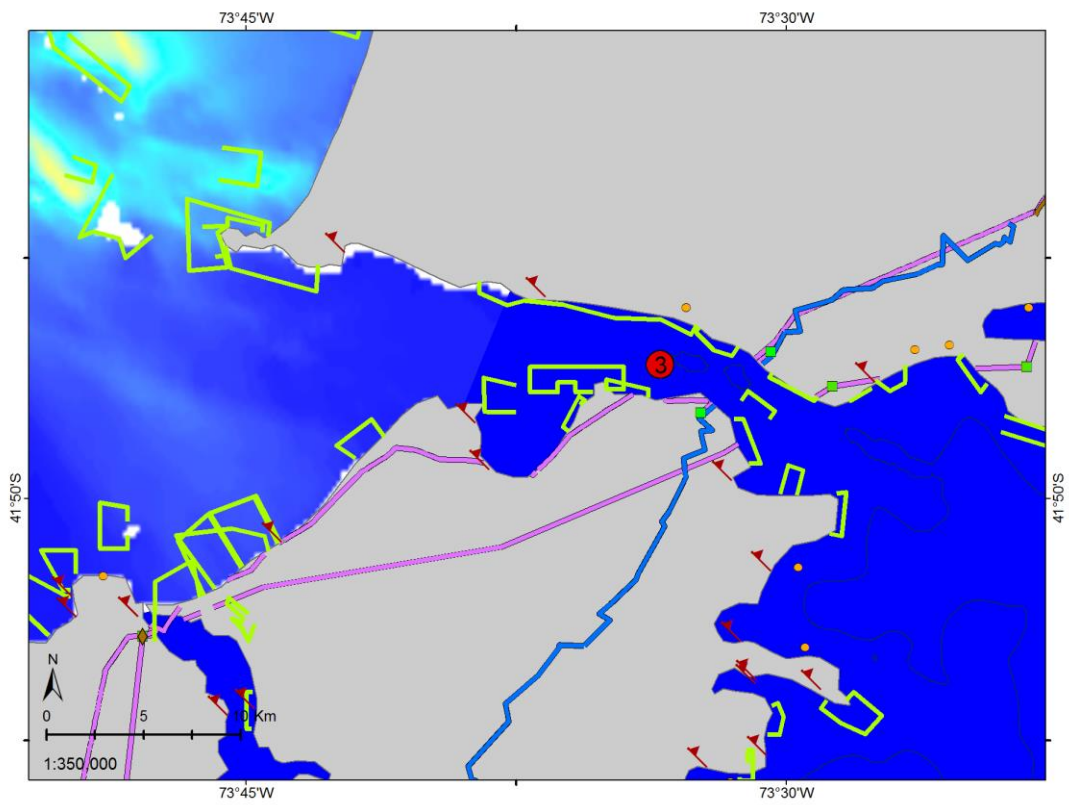


Figura 62: Los Lagos - Canal de Chacao

8.7 Aysén

8.7.1 Visión general

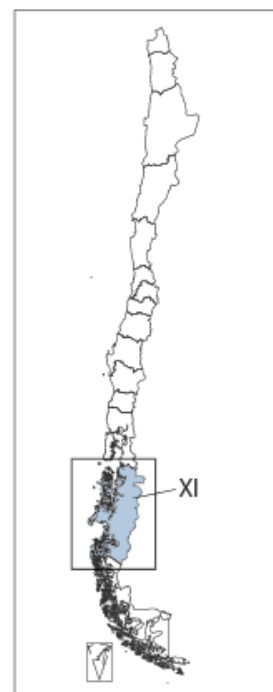
La Zona Austral de Chile se caracteriza por tener dos zonas geográficas principales: en el oeste se encuentra una zona costera con un gran número de fiordos, islas y canales, y al este de los Andes se presenta una zona interior de estepa patagónica. La región tiene un poco más de 100.000 habitantes (15% de ellos viven en áreas rurales) y las actividades productivas principales son la ganadería, el turismo, la actividad forestal, la minería, la acuicultura y la pesca. Aysén no tiene conexión eléctrica troncal con las otras Regiones de Chile (ver el mapa al final de esta sección), y existe una red de transmisión de tamaño mediano que conecta las áreas cercanas a Puerto Aysén y Coyhaique. La generación eléctrica proviene de cinco centrales térmicas y cuatro centrales hidroeléctricas, además de una granja eólica.

Si bien los recursos mareomotrices de Aysén no son suficientes para grandes implementaciones de energía marina, hay áreas específicas que cuentan con recursos mareomotrices significativos, que aún deben ser estudiados detalladamente. Muchas de las comunidades e industrias (especialmente las granjas salmoneras) se encuentran en áreas remotas y dependen de la generación eléctrica a base de diesel, que es especialmente costoso debido a las grandes distancias de transportación para abastecer a estas localidades con combustible. Hay corrientes de marea con velocidades de 2–3 m/s (con su máxima en primavera) en áreas tales como el Canal Carhunco y Estrecho Elefantes que serían adecuadas para iniciativas mareomotrices. Puerto Aguirre y Puerto Raúl Marín Balmaceda serían puntos base adecuados para servir a los proyectos mareomotrices.

Los niveles de promedio anual de energía undimotriz en las costas expuestas del Pacífico son muy altos y se estiman entre 87 y 111 KW/m. Sin embargo, dichas áreas por lo general se encuentran ubicadas a gran distancia de los centros de demanda. Aysén tiene una costa muy larga expuesta al oleaje (debido en parte al gran número de islas), y una plataforma de suelo marino (<100 m) ancho con profundidades adecuadas para el amarre de los dispositivos, aunque es improbable que se desarrollen proyectos undimotrices mar adentro en un futuro cercano, debido a las grandes distancias y la ausencia de infraestructura. El puerto de Melinka en el norte de Aysén recibe cierto oleaje oceánico y cierto oleaje levantado por el viento, y podría ser un emplazamiento adecuado para desarrollar proyectos de energía marina de pequeña escala.

8.7.2 Marco regulatorio

La Región de Aysén depende principalmente de fondos administrados desde el nivel central, más que del financiamiento local. El Gobierno Regional de Aysén apoya estudios de desarrollo y proyectos de infraestructura, que generalmente benefician a las áreas aisladas y económicamente vulnerables. Cabe mencionar que Aysén fue la primera región de Chile en contar con una granja eólica conectada al sistema de transmisión eléctrica. Aysén fue, también, la primera región de Chile en desarrollar un mapa de uso del borde costero, que a futuro podría incluir proyectos de energía marina.



XI. Aysén

8.7.3 Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)

La Universidad Austral tiene presencia en la región a través del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, CIEP, que realiza investigación relacionada con ecosistemas acuáticos y terrestres, la pesca tradicional, el turismo sustentable y la acuicultura. En la zona existe mucha experiencia y conocimiento marítimo práctico, especialmente en relación con la acuicultura, ya que se encuentran equipos de profesionales capaces de hacer levantamientos, y de diseñar y desarrollar las muchas granjas de acuicultura del salmón de la zona (ver mapa en las páginas siguientes y la Figura 30 en el Capítulo Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), página 34).

8.7.4 Infraestructura y cadena de suministros

El sistema de transmisión eléctrica de Aysén no está actualmente conectado al resto de Chile, y la región tiene una capacidad instalada de generación de sólo 41 MW (un 0,22% de la capacidad total de Chile). Hidroaysén es un proyecto cuyo objetivo es desarrollar 5 centrales hidroeléctricas, 2 en el Río Baker y 3 en el Río Pascua, con una potencia instalada total de 2.750 MW y una capacidad anual de generación de 18.430 GWh. El propósito es que estas centrales estén conectadas al sistema troncal SIC³⁴ a través de una nueva conexión (posiblemente marítima).

Coyhaique es la capital regional de Aysén. Puerto Chacabuco es el puerto principal, y tiene una actividad considerable relacionada con la acuicultura del salmón, y sería capaz de ofrecer servicios a proyectos de mediana escala en energía marina.

8.7.5 Mercados energéticos

La Figura 63 compara la capacidad instalada de generación actual (incluyendo el sistema de electricidad a partir de diesel sin conexión a la red) en Aysén con el recurso undimotriz y mareomotriz de la región. Se puede observar que, mientras que los recursos totales son de gran magnitud y muchas veces mayor que la demanda de energía actual, el recurso undimotriz técnico se hace insignificante de acuerdo a los criterios seleccionados (Ver Figura 46, página 102). Los proyectos mareomotrices deberían tener una mayor facilidad de instalación y podrían reemplazar o reducir la generación de electricidad sin conexión a partir de diesel en determinados emplazamientos.

Aysén es la segunda región más importante en cuanto a actividades de acuicultura, con un total de 490 concesiones de acuicultura³⁵. En el mapa a continuación, se puede observar que estas operaciones de acuicultura están concentradas en áreas que poseen corrientes mareomotrices significativas. Existe, también, un total de 17 caletas de pescadores, principalmente ubicadas en el norte de la región y 14 operaciones mineras registradas³⁶.

³⁴ <http://www.hidroaysen.cl/>

³⁵ <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/default.htm>

³⁶ <http://www.sernageomin.cl/sminera-atlas.php>

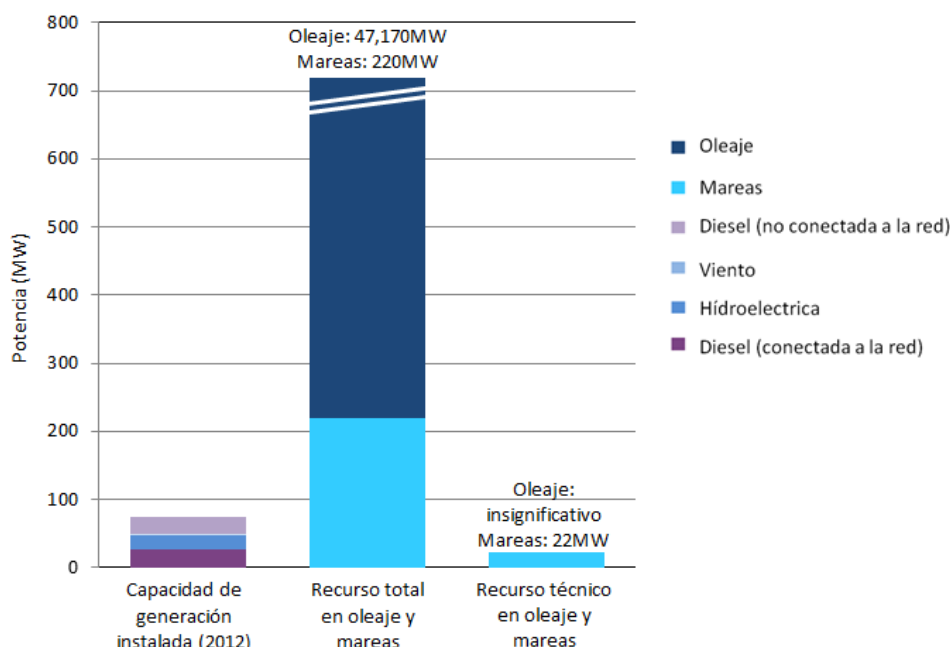


Figura 63: Capacidad instalada de generación comparada con los recursos de energía marina (Aysén)

En un largo plazo, con el desarrollo de las tecnologías de energía marina y con la conexión proyectada de Aysén al sistema troncal nacional, podría llegar a ser posible aprovechar los grandes recursos de energía undimotriz existentes en el mar abierto, posiblemente como parte de un eventual gran sistema troncal ubicado mar adentro, que conecte esta área con los centros de demanda energética en otras partes de Chile, y posiblemente en otros países.

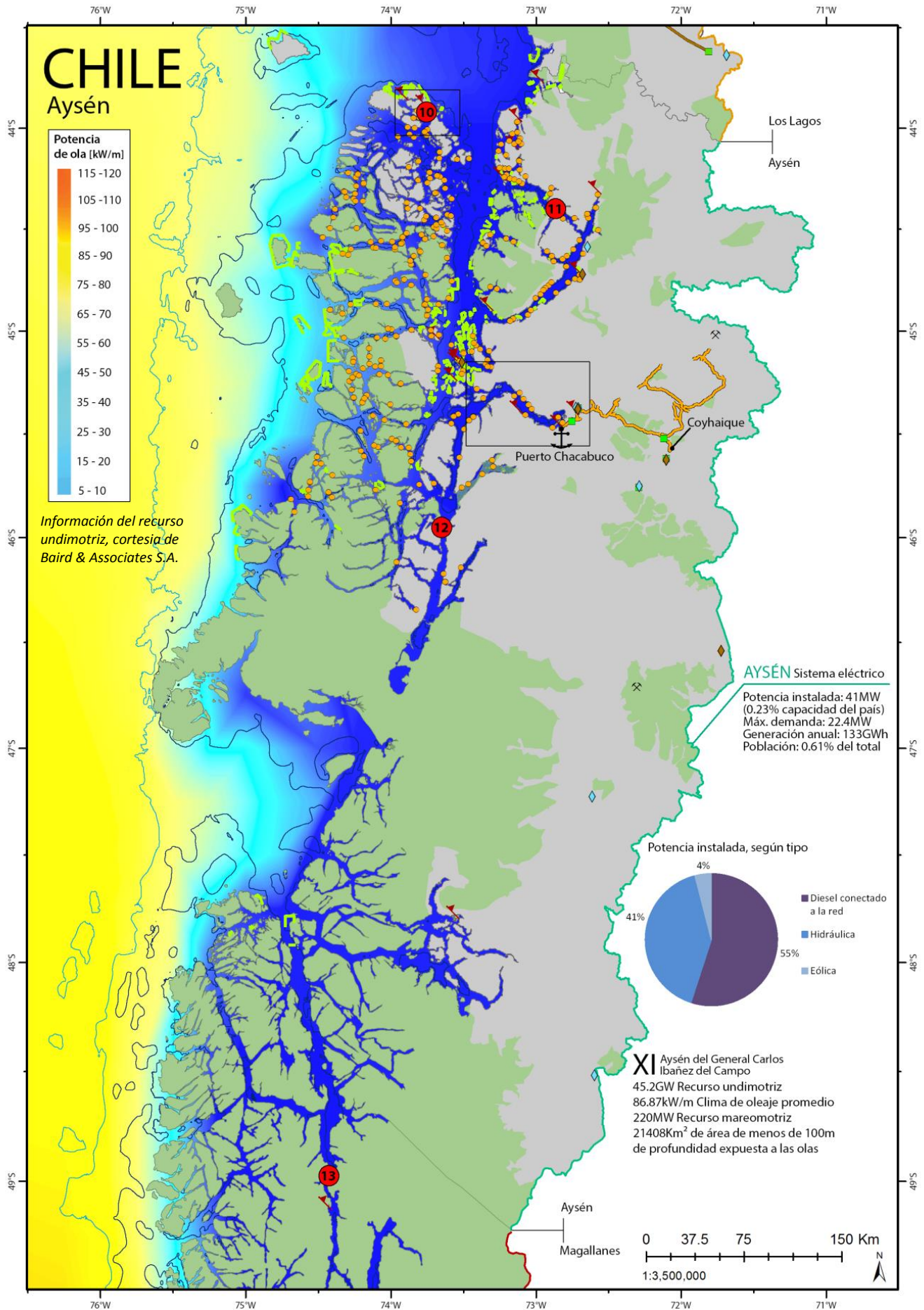
8.7.6 Conclusiones - Aysén

En la Región de Aysén pareciera que, en un futuro previsible, la perspectiva más factible para la energía marina sería desarrollar proyectos mareomotrices a pequeña escala para las comunidades aisladas y las operaciones de acuicultura. También, podrían ser factibles uno número limitado de proyectos pequeños de energía undimotriz en el norte de la región (por ejemplo, en Melinka). Debido al auge del sector de la acuicultura del salmón, ya existe gran parte de la infraestructura necesaria para la implementación de proyectos pequeños de energía marina.

Recomendación 8-G: Desarrollo de la energía marina en Aysén

El **Gobierno Regional de Aysén** podría considerar encargar un estudio sobre el potencial existente para el desarrollo de pequeños proyectos mareomotrices en la región. Ello implicaría evaluar en forma más detallada los recursos mareomotrices, y consideraría la factibilidad de abastecer energía a las comunidades aisladas o a los criaderos de salmón, posiblemente como parte de un paquete integral de energías renovables, con respaldo de generación a base de diesel.

Gobierno Regional de Aysén **Corto plazo**



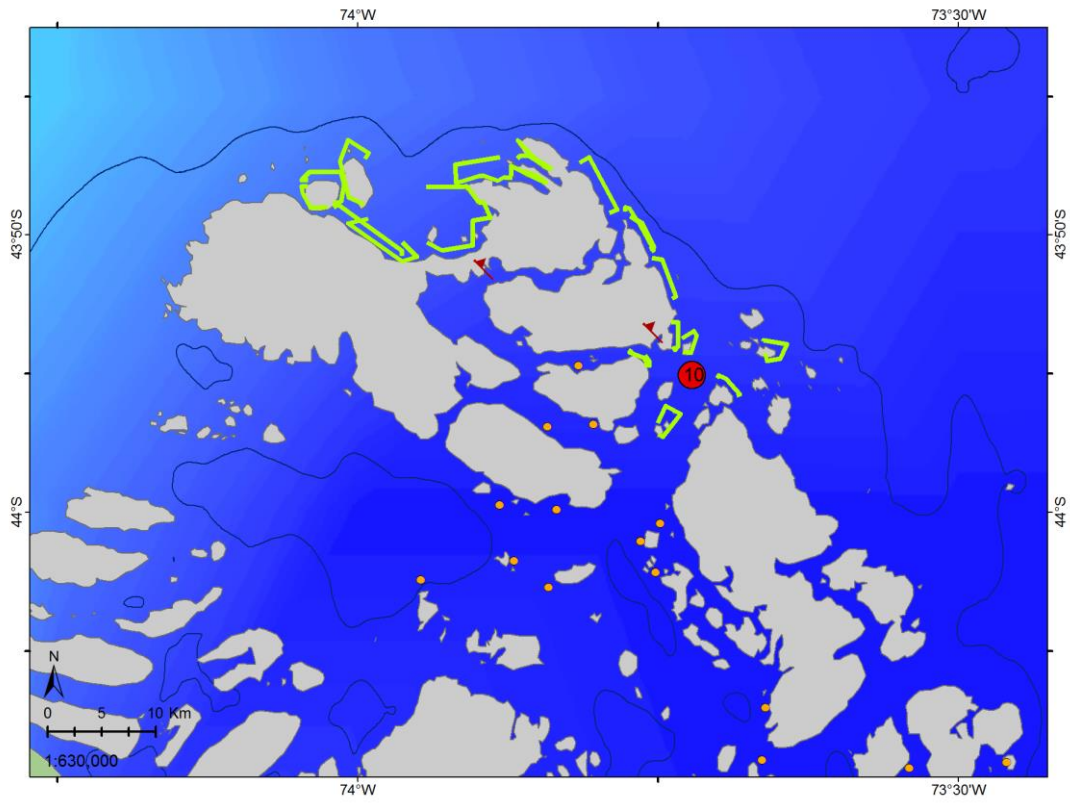


Figura 64: Aysén - Canal Carbuco

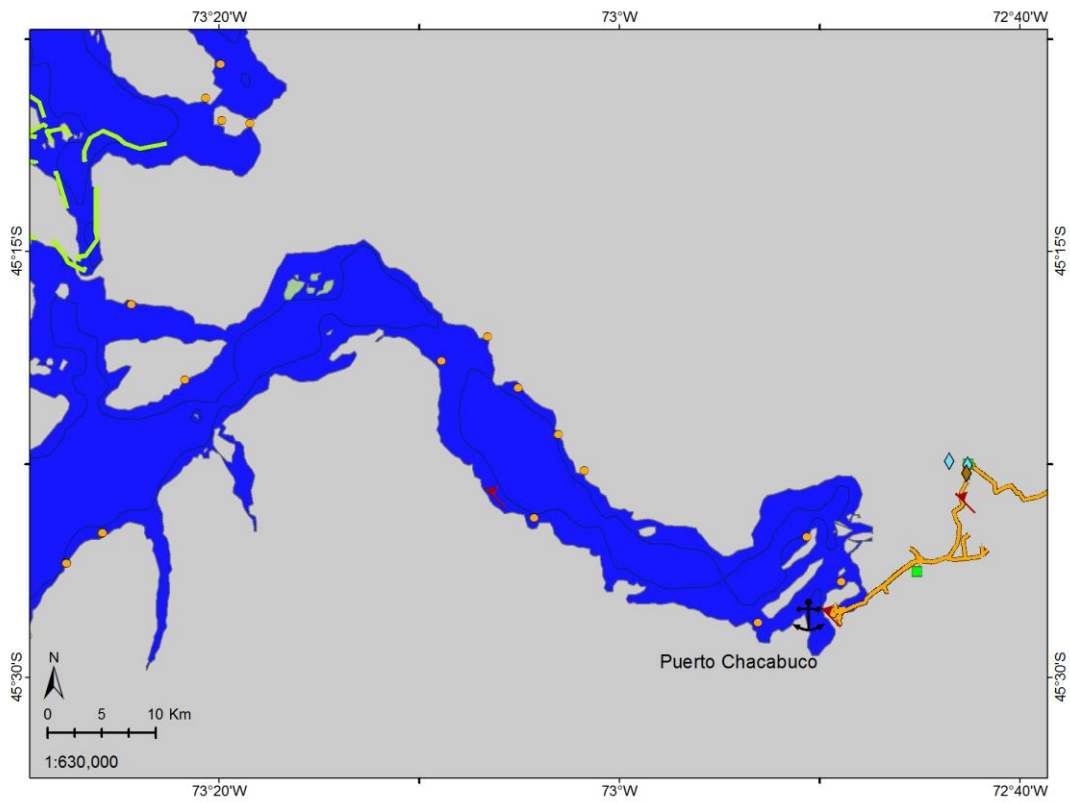


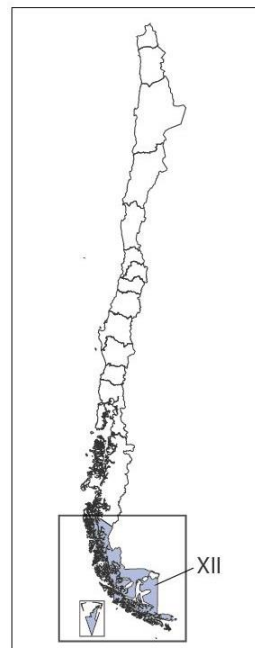
Figura 65: Aysén - Puerto Chacabuco

8.8 Magallanes

8.8.1 Visión general

La Región de Magallanes está ubicada en el extremo sur de Chile Continental y se caracteriza por sus fiordos, glaciares y estepa patagónica. Administrativamente, esta región es parte de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, aunque el presente estudio sólo considera a Chile continental. La población de Magallanes es de casi 160,000 habitantes, un 1% de la población total de Chile. Las principales actividades económicas de la región son ganadería, minería, petróleo y gas, pesca y turismo. La región está separada del resto de Chile por cientos de kilómetros de campos de hielo y es accesible sólo por aire, mar, o vía terrestre por Argentina.

El Estrecho de Magallanes representa el principal recurso mareomotriz de Chile, específicamente en el lugar donde el Estrecho se angosta en la Primera y Segunda Angostura y la velocidad de las corrientes de marea alcanzan los 4 m/s (8 nudos) o más. Se estima que el recurso mareomotriz total es de más de 3.500MW, aunque sería necesario realizar más estudios detallados al respecto. La capital regional, Punta Arenas, ubicada en la costa del Estrecho, podría ser un mercado para esta potencia eléctrica. También, se presentan importantes corrientes de marea en el Canal Fitzroy, el Canal de Beagle y muchos otros sitios más pequeños que aún no han sido estudiados en detalle. La amplitud de la marea en esta región es de aproximadamente 2m, pero puede llegar hasta los 9m en algunas ubicaciones (por ejemplo Punta Delgada en la Primera Angostura).



XII. Magallanes

El nivel de recurso undimotriz en las costas expuestas del Pacífico es extremadamente alto (111-120KW/m) pero, al igual que en Aysén, estas áreas están tan expuestas y son tan remotas que el eventual desarrollo de este recurso no es previsible en este momento. No obstante, algunos proyectos undimotrices a menor escala, que aprovechen el permanente oleaje levantado por el viento en áreas tales como el Seno Otway o las partes más anchas del Estrecho de Magallanes, podrían ser factibles.

Actualmente, la generación eléctrica que alimenta las redes de distribución de Magallanes proviene principalmente a base de gas (83%) y diesel (14%). También, hay una granja eólica de tres turbinas en Cabo Negro cerca de Punta Arenas.

8.8.2 Marco regulatorio

Aproximadamente un 70% del área terrestre de la Región de Magallanes está protegida, de modo que para cualquier proyecto de energía marina que se desarrolle en esta región sería necesario hacer evaluaciones exhaustivas de impacto ambiental y de medidas de mitigación. En la actualidad, el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) del Gobierno Regional de Magallanes ofrece una buena oportunidad para identificar los emplazamientos idóneos para eventuales proyectos de energía marina.

La Región de Magallanes goza de una serie de incentivos y beneficios fiscales. Por ejemplo, el Plan Austral entrega una exención de impuestos de Primera Categoría (de hasta un 32%) para la inversión en activos fijos. De modo similar, la Ley Tierra del Fuego entrega una exención de impuestos de Primera Categoría hasta 2035 en la Provincia de Primavera. Estas medidas han sido eficaces para promover la creación de nuevos *clusters* industriales y podrían ser aprovechadas para apoyar el desarrollo de la cadena de suministros de la energía marina, incluyendo la fabricación de dispositivos o componentes. El Fondo de Desarrollo de Magallanes (FONDEMA), también, apoya proyectos de energías renovables y de eficiencia energética.

8.8.3 Investigación, desarrollo y capacidad innovadora

CEQUA (Centro de Estudios del Cuaternario, Fuego-Patagonia y Antártica) es un instituto local de investigación que estudia los posibles impactos medioambientales del desarrollo de la energía marina en Magallanes. La Universidad de Magallanes ofrece cursos de ingeniería de pregrado y postgrado, con énfasis en las problemáticas locales y en algunos casos, los proyectos eólicos locales.

También, el sector privado realiza cierta actividad de I+D+i en Magallanes, por ejemplo, Alakaluf Ltda., una empresa oceanográfica basada en Punta Arenas (y socia en el presente proyecto), ha realizado exploración y levantamientos de algunas de las ubicaciones undimotrices y mareomotrices más interesantes de la región.

8.8.4 Infraestructura y cadena de suministros

La generación, transmisión y distribución eléctrica en Magallanes son controladas por una única empresa, EDELMAG (a diferencia del SIC y el SING, donde dichas funciones están separadas). Existen cuatro redes eléctricas distintas en Puerto Natales, Punta Arenas, Porvenir y Puerto Williams, sin conexión entre ellas o con las otras regiones del país. La legislación chilena define al sistema eléctrico de Magallanes como un sistema de tamaño mediano y, como tal, no está sujeto a las mismas reglas u objetivos relacionados con la integración de energías renovables no convencionales (ERNC) o de pequeñas fuentes de suministro eléctrico.

Punta Arenas es el mayor centro poblado de Magallanes, con una población de unos 120.000 habitantes. La ciudad tiene un astillero ASMAR y otros talleres e instalaciones incluyendo seis muelles. Hay una gran variedad de embarcaciones, remolcadores, barcasas y grúas, además de personal marino y técnico calificado, por ejemplo, en electrónica o mecánica marina.

La actividad relacionada con proyectos de petróleo y gas en el Estrecho de Magallanes ha resultado en la acumulación de experiencia en la instalación y reparación de estructuras, cañerías y cables ubicados en el mar. Muchas de estas estructuras e implementos ya no están siendo usados, y podrían ser reutilizados para la energía marina, por ejemplo, como bases de apoyo, o para ubicar las subestaciones de los proyectos mareomotrices.

8.8.5 Mercados energéticos

Punta Arenas es un importante centro regional con un mercado considerable para la potencia eléctrica. Existen comunidades aisladas en Puerto Edén, Río Verde, Punta Delgada y Puerto Williams, entre otras.

Existe un total de 42 concesiones de acuicultura en Magallanes³⁷, además de al menos diez caletas de pescadores, principalmente cerca de Punta Arenas y Puerto Williams y en ciertas áreas aisladas más al norte, y se registran 25 operaciones mineras,³⁸.

En vista de la magnitud de los recursos disponibles, y dada la ausencia de una red de transmisión y la baja demanda en muchas áreas de Magallanes, se podría considerar el desarrollo de usos innovadores de la energía, por ejemplo, la electricidad para el transporte o la exportación de potencia incorporada en bienes manufacturados o en el hidrógeno (ver Figura 66).

³⁷ <http://web.directemar.cl/estadisticas/maritimo/default.htm>

³⁸ <http://www.sernageomin.cl/sminera-atlas.php>

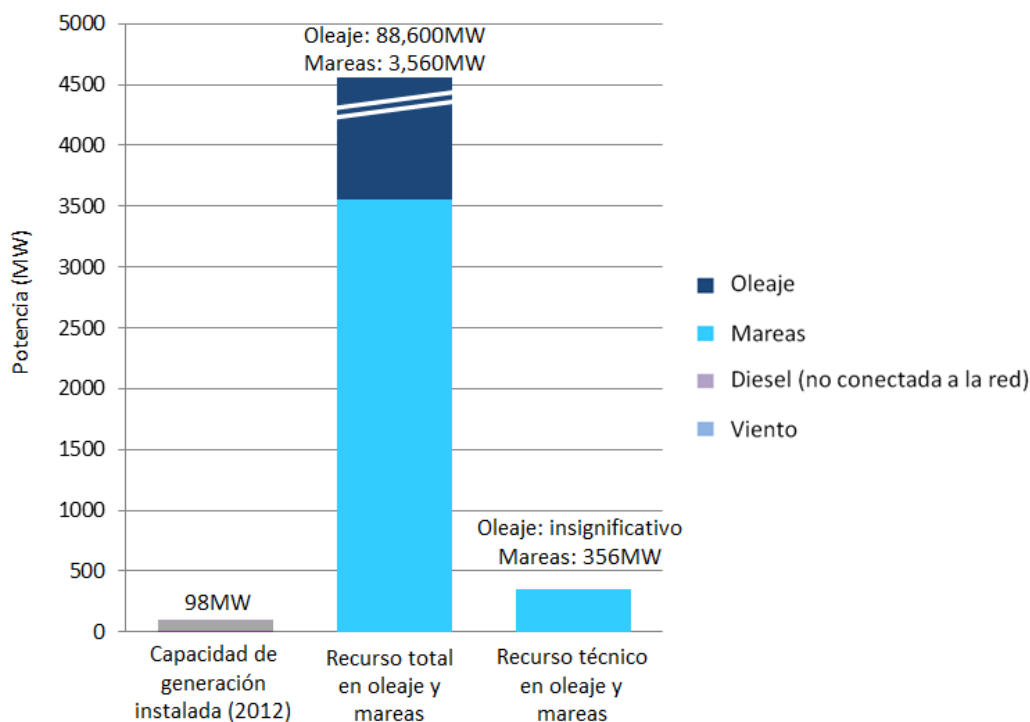


Figura 66: Capacidad instalada de generación con los recursos de energía marina (Magallanes)

La Figura 66 muestra que la demanda de electricidad actual en Magallanes queda eclipsada por los recursos energéticos marinos disponibles. Otras demandas de energía, como el transporte y la calefacción también podrían provenir de las energías marinas (especialmente de los recursos mareomotrices), si se pudiera implementar la tecnología y los sistemas apropiados (ver Recomendación 8-J).

8.8.6 Conclusión - Magallanes

El Estrecho de Magallanes posee la mayor corriente de marea de Chile, y representa un emplazamiento ideal para grandes proyectos mareomotrices. Existen otras oportunidades para el desarrollo de la energía marina. Hay una fuerte corriente de marea en el Canal de Beagle, donde Puerto Williams depende de la generación eléctrica a base de diesel, y también, el Canal de Fitzroy al norte de Punta Arenas, donde se encuentran las condiciones mareomotrices ideales y protegidas, está relativamente cerca de un nuevo proyecto minero.

Si bien es improbable que los recursos de energía undimotriz de los mares de la Región de Magallanes puedan ser desarrollados en un futuro previsible, existen varias áreas que están permanentemente expuestas al oleaje levantado por el viento (como por ejemplo, las partes más anchas del Estrecho de Magallanes, o el Seno Otway), donde sería posible desarrollar proyectos undimotrices en el corto y mediano plazo. Estas áreas aún deben ser evaluadas y no aparecen en la Figura 66. Los proyectos de energía marina en el mar, e incluso cerca de la Antártica chilena, podrían ser factibles en el futuro pero quizá no lo sean en la actualidad.

Se requiere de mayor investigación para cuantificar los recursos de energía marina disponibles en Magallanes. Dicha información serviría de insumo para desarrollar un plan estratégico que pueda guiar los esfuerzos del sector público y de organizaciones del sector privado, con el fin de promover la incorporación de la energía marina renovable como una fuente energética medioambientalmente amigable capaz de promover el desarrollo industrial local de la Región de Magallanes.

Recomendación 8-H: Desarrollo de la energía marina en Magallanes

El **Gobierno Regional de Magallanes** podría encargar un estudio sobre el potencial undimotriz y mareomotriz existente en la región, que sirva de insumo para generar un plan estratégico para el desarrollo de la energía marina. El estudio podría incluir lo siguiente:

- Identificación de los emplazamientos más prometedores para proyectos de energía marina, en coordinación con la Comisión Regional de Uso de Borde Costero (**CRUBC**).
- Analizar cómo los proyectos podrían ser estructurados para aprovechar los incentivos fiscales y otros de la región, por ejemplo fabricando los componentes localmente.
- Consideración de usos alternativos para la energía, por ejemplo, el uso directo por parte de la industria local ("la exportación de potencia incorporada en bienes manufacturados o en forma de hidrógeno"), la electrificación de sistemas de calefacción o usos en sistemas de transporte, etc.

Gobierno Regional de Magallanes

Corto plazo

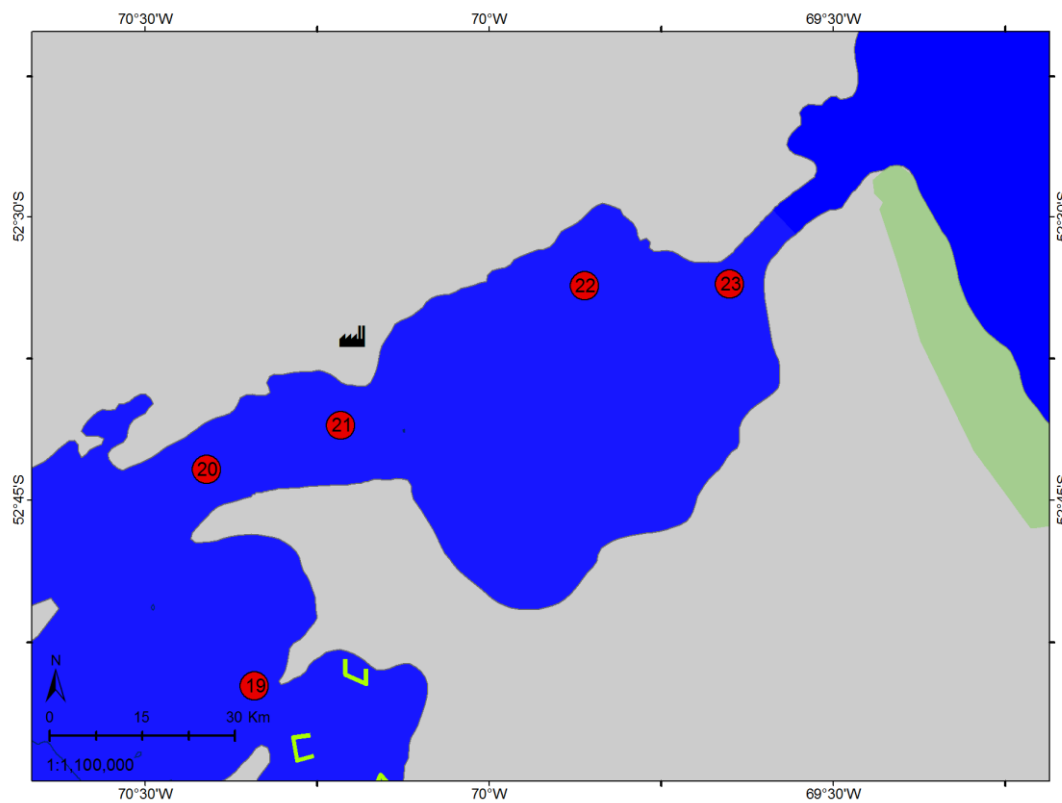
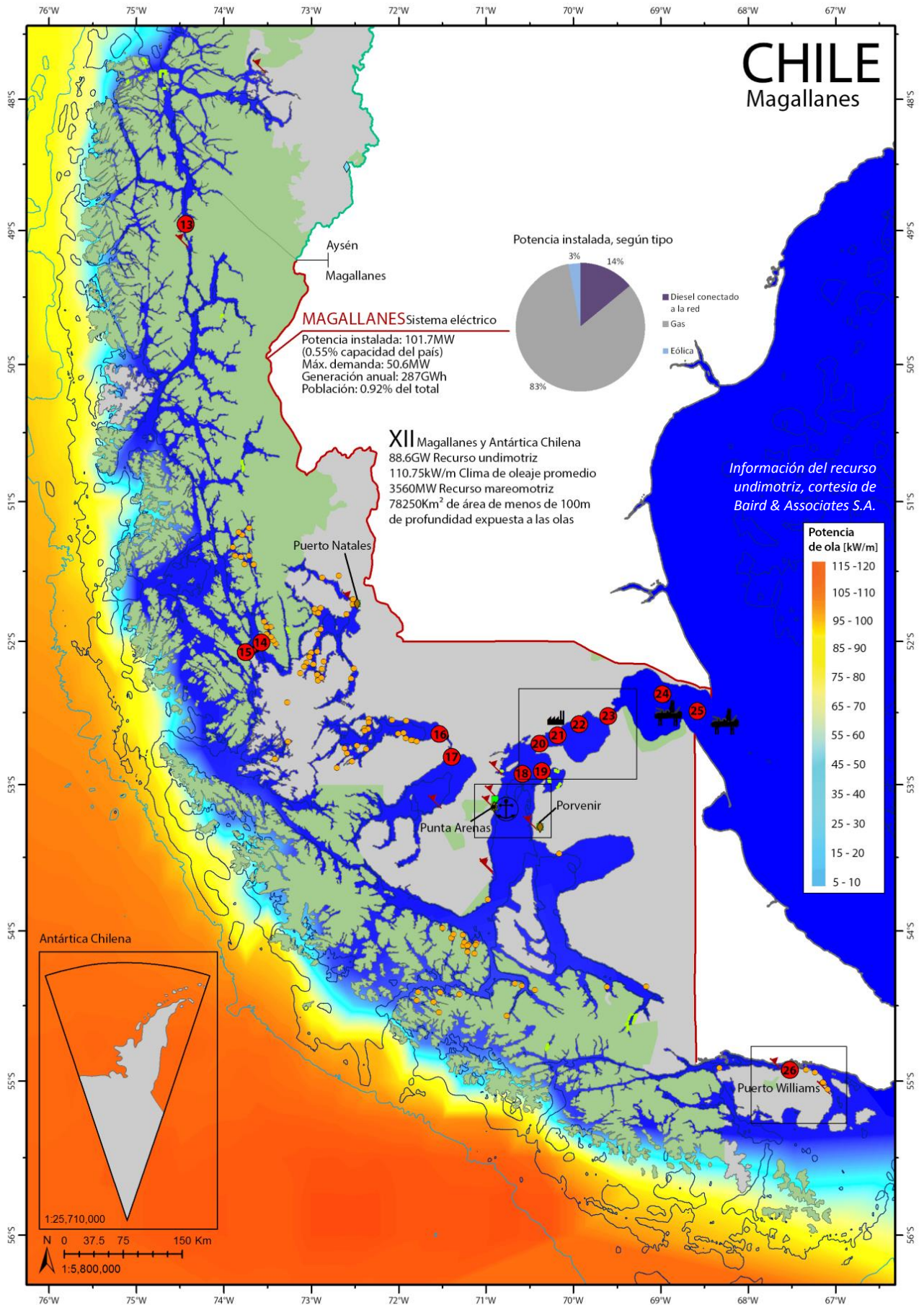


Figura 67: Magallanes - Estrecho de Magallanes



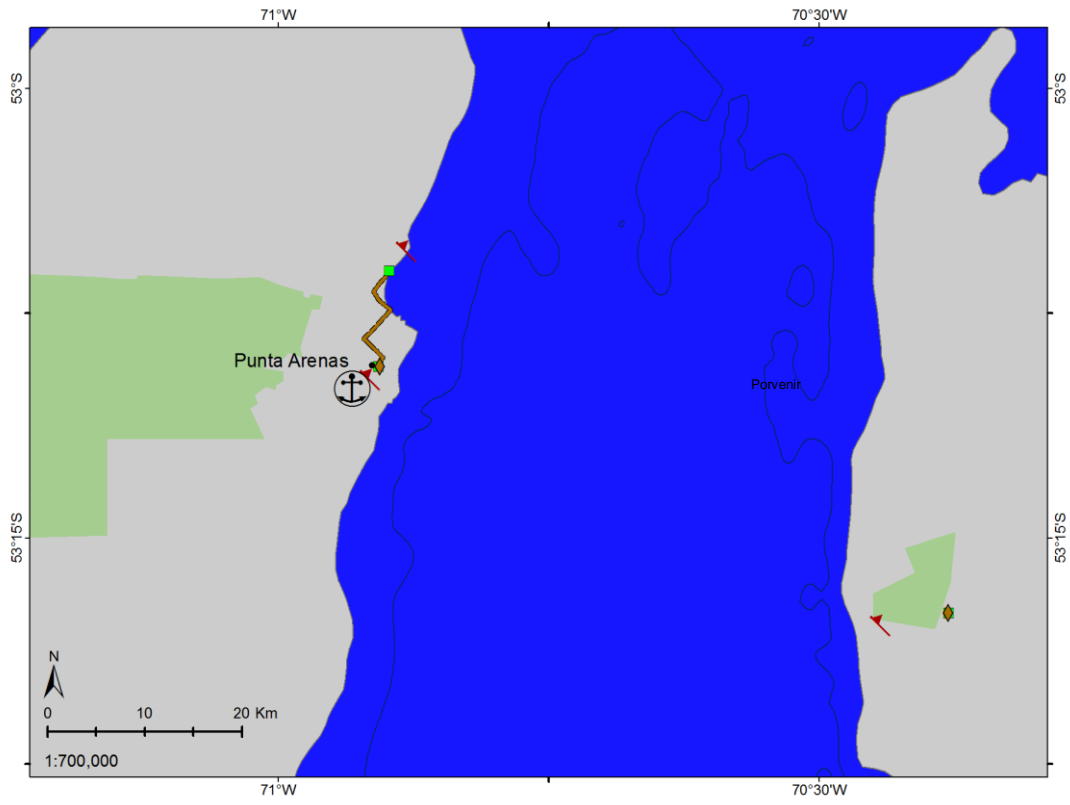


Figura 68: Magallanes - Punta Arenas

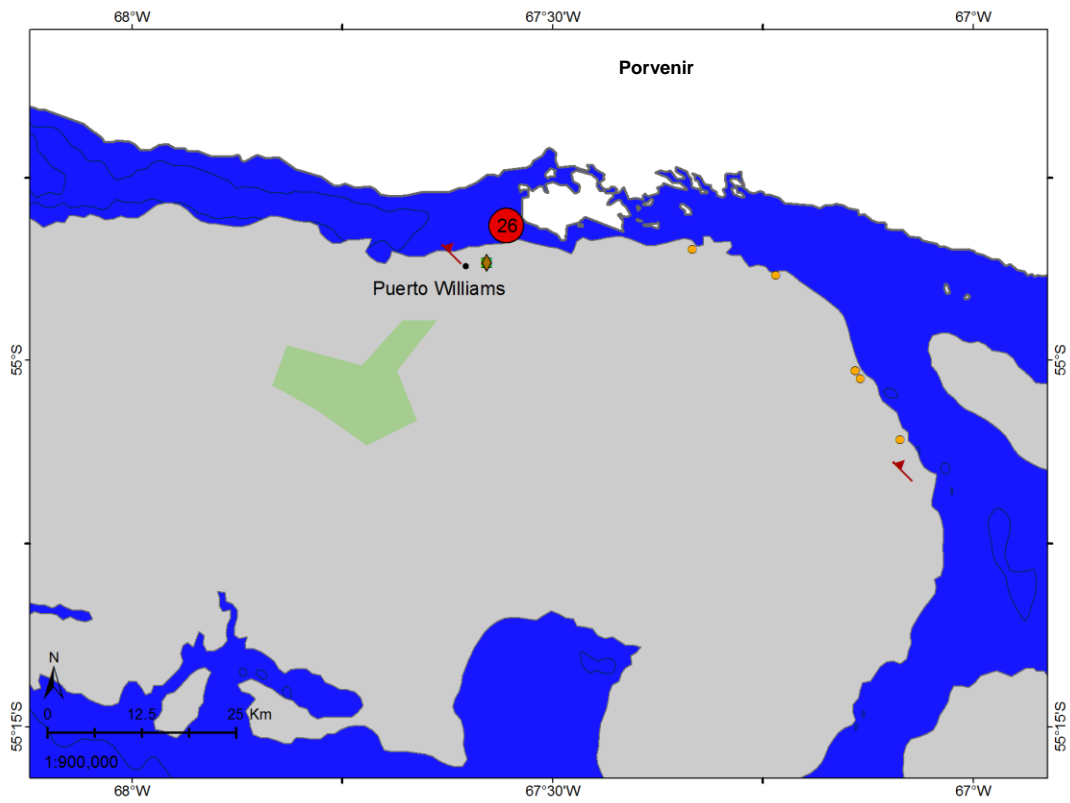


Figura 69: Magallanes - Puerto Williams

Recomendación 8-I: Identificar y reservar los mejores emplazamientos para proyectos de energía marina (Gobiernos Regionales)

Los **Gobiernos Regionales** podrían encargar estudios sobre el potencial energético-marino de sus respectivas regiones, con vistas a identificar y reservar los emplazamientos más prometedores para el desarrollo energético, en coordinación con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero (**CRUBCs**)

Gobiernos Regionales / CRUBC

Corto plazo

Recomendación 8-J: Evaluaciones regionales del potencial de desarrollo de la energía marina

Como parte de sus estrategias de apoyo a las comunidades aisladas, los **Gobiernos Regionales** y la **Subsecretaría de Desarrollo Regional** podrían considerar incluir una evaluación del potencial de las energías marinas renovables de cada región para proveer electricidad y/o agua potable a las comunidades aisladas.

Nota: algunas regiones ya están considerando colaborar con las universidades locales, con el apoyo de los Fondos de Innovación para la Competitividad (FIC) de CORFO.

Gobiernos Regionales / Subsecretaría de Desarrollo Regional

Corto plazo

Recomendación 8-K: Programas regionales de desarrollo de la energía marina

El futuro **Centro de Excelencia Internacional** en Energía de los Mares (**CEI**) podría impulsar programas regionales de desarrollo de energía marina, conjuntamente con instituciones regionales y locales.

Centro de Excelencia Internacional e instituciones regionales

Corto plazo

Estudio de caso 8-A: Creación de empleos en la periferia en Orkney, Reino Unido

La cantidad de empresas fundadas en Orkney ha aumentado dramáticamente en los últimos años (Duport Associates Ltd, 2012). En la primera mitad de 2009, 17 empresas fueron creadas en Orkney, pero en el primer semestre de 2012 esta cantidad se había más que duplicado, a 40 – superando a cualquier año anterior. El informe, también, evidencia un aumento significativo en el valor de las empresas cuando se compara 2009 con 2012, lo que indica que en los últimos tres años la economía regional se fortaleció y creció.

La economía de estas islas relativamente aisladas dependió históricamente de la agricultura, gracias a los suelos extremadamente fértiles y una sólida tradición agrícola. Sin embargo, Orkney hoy se está convirtiendo, también, en un líder en el ámbito de las energías renovables, especialmente la generación eólica, undimotriz y mareomotriz. Las estadísticas relativas a las razones sociales de empresas inscritas, reproducidas por el informe Duport, sugieren que se están formando muchas nuevas compañías en este sector, que incluyen las palabras "eólico", "generación" y "energías renovables" todas las cuales estuvieron entre las "top ten" palabras más populares usadas en las razones sociales de las nuevas empresas formadas entre Junio de 2011 y Junio de 2012.

Un sólo desarrollador de proyectos de energía undimotriz, Aquamarine Power, ha invertido más de £5 millones directamente en esta apartada comunidad (Orkney) y ha establecido negocios con más de 50 empresas locales. En la actualidad, se encuentran 14 desarrolladores de tecnología en Orkney.

Un estudio (Aquamarine Power, 2009) estima que una "central" undimotriz de 200MW en Orkney crearía un valor agregado de £38,3 millones para la economía de Orkney, además de 1.305 años-empleo, lo que equivale a un promedio de 52 nuevos puestos de trabajo en Orkney cada año durante los 26 años de vida del proyecto. El mismo proyecto generaría otros seis puestos de trabajo cada año en el resto de Escocia – lo que evidencia los beneficios económicos directos y duraderos del desarrollo de la energía marina en áreas apartadas.

9 Investigación de los posibles escenarios de crecimiento

Esta sección del informe revisa brevemente el desarrollo de la estrategia de energía marina del Gobierno de Chile, previo al análisis de los efectos potenciales que la estrategia elegida puede tener sobre el crecimiento de la energía marina en Chile. Evidentemente este crecimiento no depende únicamente de la estrategia del Gobierno, aunque esta puede tener un efecto significativo. A continuación se indican los supuestos sugeridos por este estudio.

9.1 Estrategia de energía marina

El Informe de 2012 *Marine Energy Development – Taking Steps for Developing the Chilean Resource (Desarrollo de la energía marina - dando pasos para el desarrollo del recurso chileno)* de Errázuriz y asociados y la Universidad de Edimburgo (E&A/UoE) esboza dos estrategias de energía marina que Chile podría implementar:

- A. Una **estrategia de desarrollo** por la cual el país brindaría apoyo al sector con el fin de asumir un papel activo en el desarrollo de las tecnologías de energía marina y cosechar los beneficios económicos asociados.
- B. Una estrategia de implementación mediante la cual el país esperaría a que se desarrollara la tecnología en el extranjero antes de comprar e instalar los dispositivos para aprovechar los beneficios asociados con la explotación de los atractivos recursos del país.

Desde entonces el Gobierno de Chile ha declarado explícitamente su preferencia por emprender una estrategia de desarrollo (ver Capítulo 3, página 12) y ya ha hecho progresos con este fin, particularmente con el anuncio de los proyectos pilotos ya previstos y el futuro Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares (CEI). Por esta razón, el escenario resultante de una estrategia de implementación no se cubre en este estudio.

Si bien el apoyo previsto para la energía marina en Chile es mayor de la que se entregaría bajo una estrategia de implementación, no se considera suficiente en esta etapa para constituir una estrategia de desarrollo plena, por lo tanto, se utilizará el término **estrategia de implementación plus** para describir el escenario resultante de las iniciativas de la política actual anunciadas a la fecha.

Se cree que sería necesario un mayor apoyo del Gobierno para llevar a cabo un escenario de **estrategia de desarrollo** pleno. Se hacen sugerencias respecto a cuáles serían los elementos clave para lograrlo; estos son los supuestos utilizados para la evaluación de este segundo escenario.

También, sería posible que Chile asumiera un papel todavía más activo en el desarrollo de la energía marina entregando niveles de apoyo al sector, que fueran similares a aquellos observados en algunos países europeos. Este sería un escenario de **estrategia de desarrollo acelerado**.

Por consiguiente, el escenario de **estrategia de implementación plus** es aquel que podría resultar de la implementación exitosa de las políticas y medidas de apoyo actuales y previstas. El escenario de **estrategia de desarrollo** exigiría un mayor apoyo del Gobierno de Chile, pero se cree que sería técnica y políticamente realista, mientras que el escenario de la **estrategia de desarrollo acelerado** sería políticamente optimista pero técnicamente realista.

Cabe mencionar que estas opciones son escenarios hipotéticos elegidos para demostrar la posible influencia de la política de gobierno en el desarrollo de la energía marina; claramente no es posible predecir, con un gran nivel de precisión, cómo se desarrollarán los proyectos futuros.

Lo que es evidente es que alguna forma de apoyo gubernamental en la etapa pre-comercial puede aumentar la actividad de instalación y acelerar el inicio de los proyectos comerciales, además de fortalecer las capacidades de Chile en el intertanto.

9.2 Supuestos

En resumen, los tres escenarios posibles y sus supuestos asociados son:

Estrategia de implementación plus – en este escenario, el previsto centro de excelencia, los proyectos pilotos y los cambios regulatorios propuestos se implementan exitosamente, pero no se anuncia un apoyo adicional para la instalación de dispositivos para la energía undimotriz y mareomotriz. Esto podría potencialmente limitar la actividad en el sector entre el fin de los proyectos pilotos y la aparición de los proyectos comerciales, aunque se podrían realizar algunos proyectos si existe el suficiente apoyo de la industria y la comunidad. Los hitos específicos que se prevén se presentan a continuación:

- Se instalan proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz para el año 2016.
 - Se observa algún crecimiento limitado a pequeña escala, nicho de mercado y proyectos de energía marina apoyados por la industria.
 - Se observa un crecimiento moderado de granjas mareomotrices desde principios a mediados de la década de 2020.
 - Se observa un crecimiento moderado de granjas undimotrices desde mediados a finales de la década de 2020.
- *Esto se basa en el estado de la política de energía marina en Chile desde finales del año 2013.*

Estrategia de desarrollo: las actividades mencionadas en la estrategia de implementación plus se completan y se dan a conocer el corto plazo medidas de apoyo adicional para proyectos de nicho de mercado de pequeña escala y remotos, por ejemplo, por el gobierno que asume en marzo de 2014. Por último, para el año 2020, se debiera otorgar apoyo adicional a las primeras granjas pre-comerciales undimotrices y mareomotrices (entre 10 a 30 MW de capacidad) para el 2020. Los hitos específicos que se prevén se presentan a continuación:

- Se instalan proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz para el año 2016.
 - Se observa un crecimiento limitado de proyectos de energía marina de pequeña escala, nicho de mercado apoyados por la industria.
 - Se observa un crecimiento moderado de granjas mareomotrices desde principios de la década de 2020.
 - Se observa un crecimiento moderado de granjas undimotrices desde mediados de la década de 2020.
- *Esto requeriría mayor apoyo disponible para los proyectos de pequeña escala y nichos de mercado en el corto plazo y apoyo limitado para las granjas pre-comerciales en el mediano plazo (por ejemplo, para 2020).*
-

Estrategia de desarrollo acelerado: esta medida depende de la implementación de un incentivo substancial para satisfacer la demanda del mercado, lo cual sería suficiente para crear múltiples granjas undimotrices y mareomotrices conectadas a la red eléctrica, así como proyectos a pequeña escala, remotos y nichos de mercado en el corto plazo. Los hitos específicos que se prevén se presentan a continuación:

- Se instalan proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz para el año 2016.
 - Se observa un crecimiento fuerte en proyectos de pequeña escala, nichos de mercado y apoyados por la industria.
 - Se instalan múltiples granjas pre-comerciales undimotrices y mareomotrices
 - Se observa un crecimiento muy fuerte de granjas mareomotrices desde principios de la década de 2020.
 - Se observa un crecimiento muy fuerte de granjas undimotrices desde mediados de la década de 2020.
- *Esto requeriría un nivel de apoyo (es decir, intervención del mercado) para la energía marina similar al observado en países como el Reino Unido o Francia.*

En general, también, se hicieron los siguientes supuestos:

- El índice de desarrollo mundial de la energía marina llevaría a una reducción de costos en los lapsos de tiempo presentados en la Figura 43; es decir, la energía mareomotriz será competitiva con otras formas de energías renovables conectadas a la red eléctrica en Chile entre principios y mediados de la década de 2020, y la energía undimotriz lo será desde mediados a fines de 2020.
- El costo de la generación por diesel aumentará tal como se indica en Figura 32, y el costo del transporte sumará el 27% a este costo en las zonas remotas.
- Habrá un aumento moderado (por debajo de la tendencia actual) en el costo de la electricidad en las redes chilenas SIC y SING. Esto sería un reflejo de las medidas previstas para reducir estos costos, que son en parte, compensadas por los crecientes precios de los *commodity*.

9.3 Estimaciones de crecimiento

Para cada uno de los tres escenarios de estrategia se efectuó una estimación de las tasas probables de instalación de los siguientes tipos de proyectos:

- **Pequeña escala y sin conexión a la red eléctrica:** proyectos de energía undimotriz y mareomotriz de decenas o cientos de capacidad de kilovatios (kW), que compiten con la generación por diesel para suministrar electricidad y/o agua potable a caletas pesqueras, granjas salmoneras o comunidades aisladas. Se prevé que con las medidas de apoyo del Gobierno actual, algunos de estos proyectos pueden ser viables en el corto plazo para la energía mareomotriz y en el mediano plazo para la undimotriz, pero que mayores niveles de apoyo gubernamental, como parte de la estrategia de desarrollo, acelerarían este proceso.
- **Proyecto piloto:** los dos proyectos pilotos de energía mareomotriz y undimotriz de aproximadamente 1 MW de capacidad cada uno, aunque múltiples dispositivos pueden compensar esta capacidad.

- **Granja pre-comercial:** la implementación de dispositivos múltiples respaldados con apoyo adicional del Gobierno o la industria, es decir, expansión de los proyectos pilotos.
 - **Estrategia de implementación plus:** No se incluirían granjas pre-comerciales
 - **Estrategia de desarrollo:** 15 MW en total (mareomotriz y undimotriz) para el 2020
 - **Estrategia de desarrollo acelerado:** 30 o 50 MW en total para el 2020

Nota: estas granjas pre-comerciales podrían significar proyectos de bombeo o desalinización de agua.

- **Minería - bombeo de agua/desalinización:** los proyectos de energía undimotriz que suministran agua de mar desalinizada o sin tratar a la industria minera³⁹. En la **estrategia de desarrollo**, se establecería un proyecto piloto de 2 MW en el corto plazo y se brindaría apoyo para que creciera hasta 20 MW en el mediano plazo antes de convertirse en comercial. En el escenario de la **estrategia de desarrollo acelerado**, se daría más apoyo en el corto plazo.
- **Red eléctrica comercial conectada:** los proyectos de energía mareomotriz o undimotriz se realizan sin apoyo significativo del Gobierno.

A continuación se presenta un desglose de la estimación para el escenario de la estrategia de desarrollo, seguido por una comparación de los resultados de los tres escenarios.

9.3.1 Crecimiento potencial de la energía mareomotriz

Como ya se ha mencionado en este informe, se considera que las tecnologías de energía mareomotriz se encuentran más desarrolladas y tienen costos de generación inferiores a las tecnologías para la energía undimotriz. El mercado de la tecnología de la energía mareomotriz está más consolidado, y hasta ahora, se está logrando una generación de energía mayor y más regular de estos dispositivos que con los dispositivos para energía undimotriz.

Nota: esto puede entenderse, en parte, comparando los principios de funcionamiento. Todos los dispositivos de energía mareomotriz efectivos generan electricidad a partir de turbinas rotatorias de flujo. En este sentido son conceptualmente simples y similares, hasta cierto punto, a las turbinas eólicas. De hecho, la energía mareomotriz se ha visto favorecida por la transferencia de tecnología desde esa industria. El desafío de la energía undimotriz es extraer energía a partir de oscilaciones de baja velocidad y alta fuerza (olas) en lugar de un flujo, lo cual es un problema más complejo y tiene un rango aparentemente más diverso de soluciones de conversión de energía.

Sin embargo, existe un número relativamente limitado de sitios idóneos para los proyectos de energía mareomotriz en Chile. El Canal de Chacao, por ejemplo, es uno de los sitios mareomotrices más importantes de Chile y se estima que tiene aproximadamente 800 MW de recurso total. Como aproximación, típicamente el 10% a 15% de dicho recurso puede ser económicamente extraíble (ver Figura 25, página 44), y de esta manera, después de que se hayan instalado unos 80 a 120 MW el sitio puede estar efectivamente saturado. A medida que se desarrollen los sitios mareomotrices, el alcance del potencial mareomotriz total en Chile se verá limitado, y es probable que haya un descenso en la actividad de instalación mareomotriz, (ver Figura 70 a continuación). No existe claridad en cuanto a la cantidad máxima de capacidad de energía mareomotriz que podría instalarse en Chile. Esto requiere una mayor evaluación del recurso y un trabajo de investigación del sitio por definirse, pero podría ser mayor a lo presentado aquí, particularmente si puede encontrarse un mercado para la electricidad de sitios como el

³⁹ La energía mareomotriz no se presta para el bombeo o desalinización directa de agua en la misma forma que la energía undimotriz, ni tecnológicamente (muchos dispositivos de energía undimotriz son hidráulicos; la mayoría de los dispositivos de energía mareomotriz no lo son) ni geográficamente (el suministro de agua es un problema en el norte de Chile; los sitios de energía mareomotriz están en el sur). Sin embargo, los sitios cerca de minas como el Canal Fitzroy podrían suministrar energía.

Estrecho de Magallanes (por ejemplo, a través de la electrificación del transporte o producción de hidrógeno) o para otros emplazamientos más pequeños en las regiones del sur de Chile.

Es probable que la energía mareomotriz sea comercializada antes que la energía undimotriz, y que la actividad de instalación de energía mareomotriz aventajaré la actividad de instalación de energía undimotriz durante al menos la primera mitad de la década de 2020. No obstante, el hecho de que el recurso undimotriz total de Chile es aproximadamente cien veces mayor al recurso mareomotriz (Baird & Associates, 2012) puede proporcionar un nuevo impulso al sector undimotriz en Chile. De hecho, solo en términos de recurso, se podría argumentar que para el Gobierno chileno es menos crítico apoyar las granjas pre-comerciales de energía mareomotriz que las de energía undimotriz.

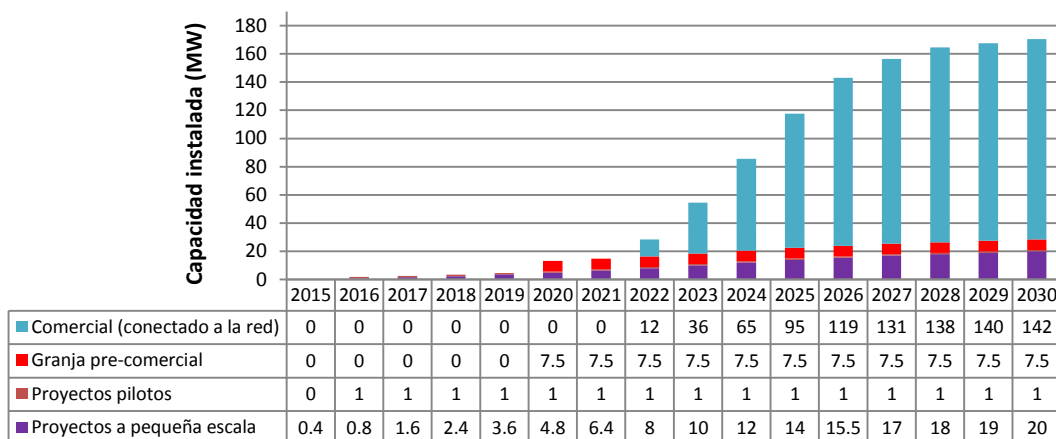


Figura 70: Capacidad instalada potencial de energía mareomotriz con la estrategia de desarrollo

La Figura 70 muestra el crecimiento potencial en capacidad de energía mareomotriz en un escenario de **estrategia de desarrollo**. También se realizaron estimaciones de crecimiento, para los escenarios de **estrategia de implementación plus** y **estrategia desarrollo acelerado**, en base a los supuestos mencionados. Las cifras totales para la energía marina (undimotriz más mareomotriz) para cada escenario se presentan en la Figura 73.

9.3.2 Crecimiento potencial de la energía undimotriz

Debido a la magnitud del recurso undimotriz de Chile, así como por el hecho de que los dispositivos de energía undimotriz pueden instalarse en múltiples ubicaciones (por ejemplo, mar adentro/cerca de la costa/en la costa), el crecimiento de la energía undimotriz en Chile no estará limitado por la falta de sitios en la misma forma que la energía mareomotriz. Sin embargo, por las razones indicadas arriba, es probable que la energía undimotriz demore más en ser comercializada. Existe una mayor oportunidad para que Chile juegue un papel en el desarrollo de la tecnología de energía undimotriz que para la mareomotriz, y el argumento para que el Gobierno apoye estos proyectos es más sólido.

Una vez que la energía undimotriz sea competitiva comercialmente, es probable que el crecimiento de este sector en Chile sea rápido. En este estudio se ha supuesto un índice máximo de instalación anual de 100 MW, pero podría ser mayor si existe suficiente demanda.

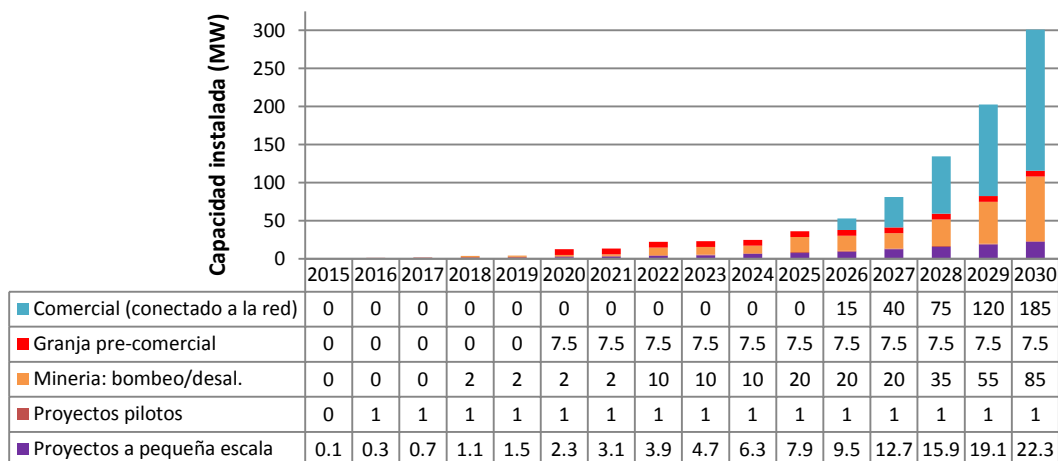


Figura 71: Capacidad instalada potencial de energía undimotriz con la estrategia de desarrollo

La Figura 71 muestra el crecimiento potencial en capacidad de energía undimotriz en un escenario de **estrategia de desarrollo**. Se hicieron análisis equivalentes para los escenarios de **estrategia de implementación plus** y **desarrollo acelerado**, en base a los supuestos mencionados. Las cifras totales para la energía marina (undimotriz más mareomotriz) para cada escenario se presentan en la Figura 73.

9.3.3 Comparación del crecimiento de la energía undimotriz y mareomotriz

La combinación de los análisis presentados anteriormente permite realizar una comparación del crecimiento potencial de la capacidad instalada de energía undimotriz y mareomotriz. La Figura 72 demuestra la ocurrencia probable de un fuerte crecimiento inicial de la energía mareomotriz que sería superado por la energía undimotriz, una vez que estos proyectos sean viables comercialmente.

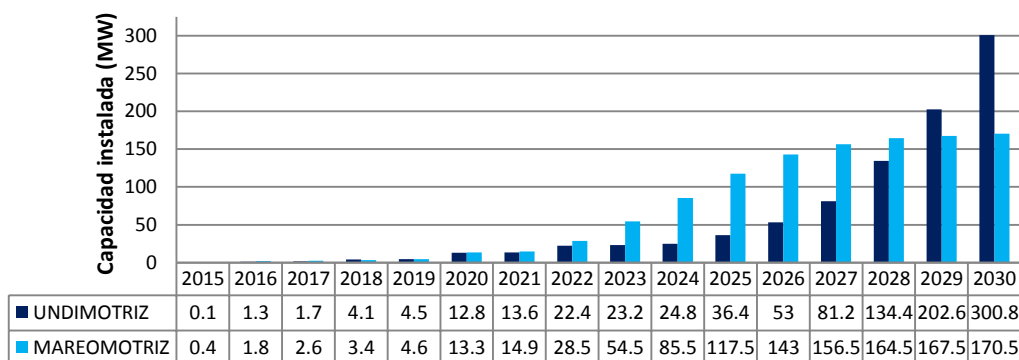


Figura 72: Comparación del crecimiento potencial de la energía undimotriz y mareomotriz (estrategia de desarrollo)

9.4 Conclusiones: posibles escenarios de crecimiento

La combinación de las estimaciones de crecimiento undimotriz y mareomotriz para cada uno de los tres escenarios arroja los valores para la predicción total de capacidad de energía marina presentadas en la Figura 73 a continuación. En todos los escenarios considerados, la desaceleración en la actividad de instalación de energía mareomotriz será compensada por un aumento en las instalaciones de energía undimotriz, lo que dará como resultado un aumento general de la capacidad de energía marina.

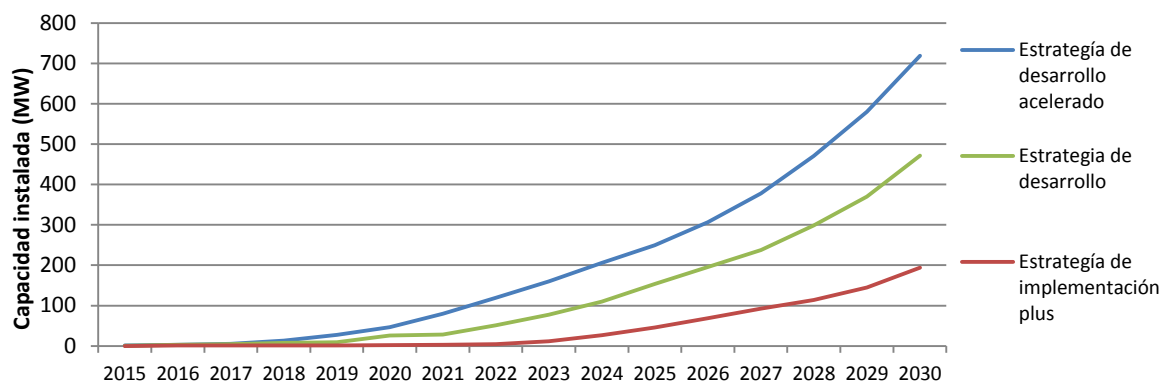


Figura 73: Escenarios de capacidad total de energía marina (undimotriz más mareomotriz)

El análisis sugiere que con los niveles de apoyo actuales y previstos para el sector de la energía marina (**estrategia de implementación plus**), el crecimiento en la capacidad de energía marina instalada podría ser lento hasta principios de la década de 2020 y, moderado en adelante. La capacidad total instalada de energía marina en Chile podría llegar a 200 MW en 2030 en este escenario.

Un aumento en el apoyo para mantener la actividad en el sector de la energía marina en el corto plazo y de apoyo a las primeras granjas pre-comerciales en el mediano plazo, podría constituir una **estrategia de desarrollo** plena. En este escenario la capacidad instalada de energía marina en Chile podría superar los 450 MW para el año 2030.

Por último, si hubiera una voluntad política o industrial para que Chile asumiera una posición estratégica en la energía marina y para apoyar múltiples granjas pre-comerciales, esto podría constituir una **estrategia de desarrollo acelerado** que llevaría a un crecimiento rápido y temprano del sector de la energía marina, y quizás podría llegar a 700 MW de capacidad instalada de energía marina para el año 2030.

Si bien estos tres escenarios son hipotéticos y, en realidad, se verían influidos por factores externos cambiantes, ellos demuestran los posibles efectos de la estrategia de energía marina del Gobierno de Chile en el crecimiento de la industria. Es bien sabido que un apoyo fuerte del Gobierno en esta etapa pre-comercial puede estimular el desarrollo de tecnología y cadena de suministro, y esto fomenta la adopción más temprana y rápida de estas tecnologías una vez que han llegado a ser viables comercialmente. Asimismo, una cantidad relativamente modesta de apoyo gubernamental puede impulsar cantidades significativas de inversión privada. Cabe destacar que efectos similares a los demostrados, también, pueden lograrse con un mayor apoyo de la industria, si las empresas están dispuestas a hacer las inversiones necesarias a largo plazo.

Las siguientes secciones proporcionan una “comprobación” de estos escenarios frente a otros datos relevantes y una investigación de los empleos y la inversión que podrían crear los diferentes escenarios.

9.4.1 Comparaciones con el crecimiento histórico en otras energías renovables y predicciones para la energía marina en el Reino Unido

La Figura 74 compara el crecimiento en la capacidad instalada de Energía Marina (EM) para los tres escenarios de desarrollo con el crecimiento histórico de otras formas de energía renovable en Chile y las predicciones de crecimiento para la energía marina en el Reino Unido.

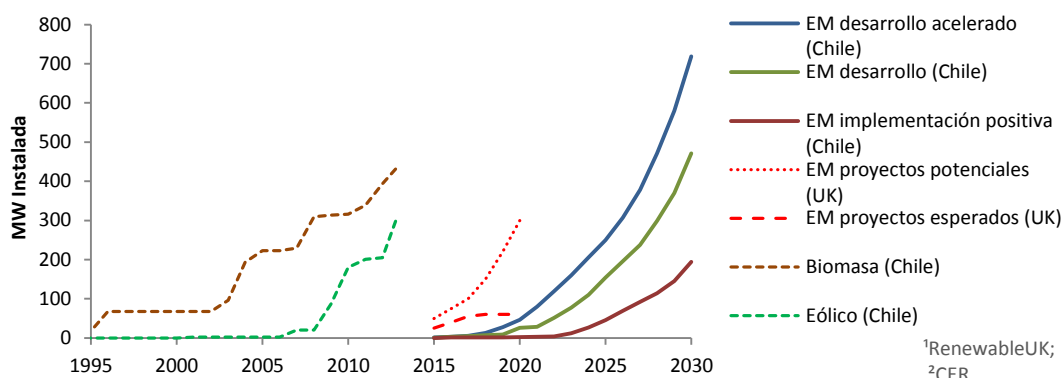


Figura 74: Comparación con la experiencia chilena y predicciones para el Reino Unido

Es indiscutible que índices de crecimiento similares a los propuestos en este informe ya se han observado en otras energías renovables en Chile y se prevén para la energía marina en el Reino Unido.

Recomendación 9-A: Predicciones y seguimiento del crecimiento de la energía marina

Sería beneficioso crear un modelo de crecimiento exhaustivo para la energía marina en Chile, el cual podría estar asociado con el estudio de energía propuesto (Recomendación 5-B, página 46) con el fin de poder llegar a estimaciones más realistas del crecimiento futuro.

Los resultados de este modelo de crecimiento podrían servir de apoyo y ser publicados junto con las actualizaciones regulares propuestas por el grupo consultivo de estrategia independiente (Recomendación 4-B, página 18), así como también, las actividades regulares del **Ministerio de Energía** y **CER**.

Ministerio de Energía / CER / Grupo consultivo de estrategia

En desarrollo

9.4.2 Empleos e inversión

Cada MW de energía marina instalada representa un número de empleos creados y una inversión asociada. Tal como se resume en el *Informe de Desarrollo de Energía Marina del 2012 para Chile* (E&A/UoE), una serie de organizaciones han hecho estimaciones del número de empleos que se crearían en la industria de la energía marina. En 2010 la European Ocean Energy Association (Asociación europea de energías oceánicas) estimó que se crearían 10 a 12 empleos directos e indirectos (2010) por MW de energía marina instalada.

Los empleos directos son aquellos dentro del sector de la energía marina (por ejemplo, personal que construye u opera los dispositivos de energía), mientras que los empleos indirectos son empleos en industrias de apoyo o de servicios que son fortalecidos por el crecimiento en el sector de la energía marina (por ejemplo, proveedores). En la Figura 75 se presenta un desglose de los tipos de empleo creados por la energía marina.

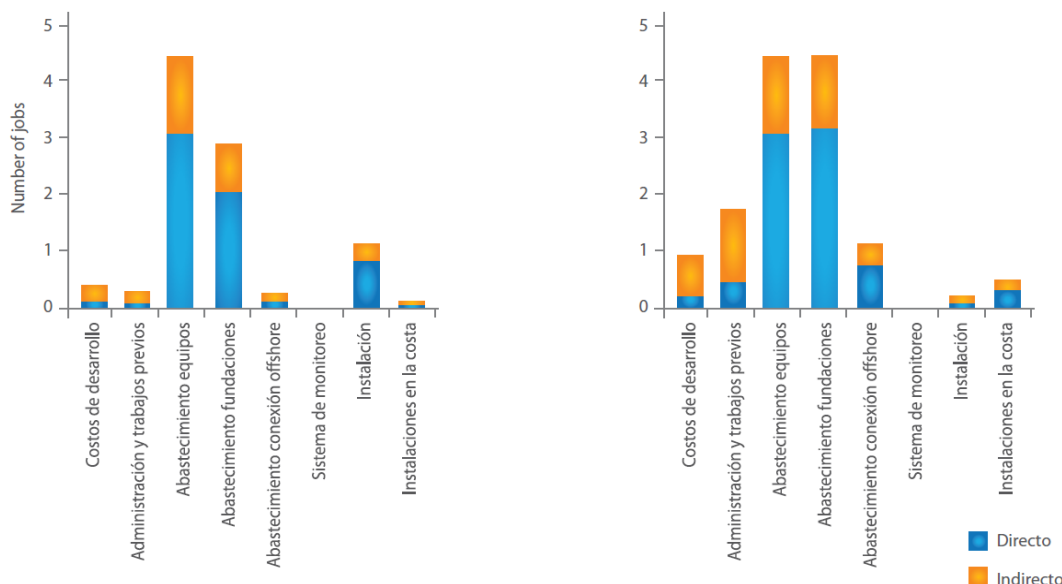


Figura 75: Creación de empleos por MW de capacidad instalada de energía marina (EU-OEA, 2010) en (E&A/UoE, 2012)

Puede observarse que existen algunas diferencias en las características de creación de empleos de la energía undimotriz y la mareomotriz. También, existen diferencias entre los diferentes dispositivos dentro de cada industria ya que, por ejemplo, los dispositivos flotantes tienen diferentes estructuras y métodos de instalación o mantenimiento, que aquellos dispositivos que están fijados al lecho marino. No obstante, está claro que la mayor proporción de creación de empleo procede del suministro de los dispositivos y sus cimientos.

Tanto el número de empleos creados como la inversión requerida para instalar un MW de energía marina disminuirá con el tiempo (ambos están relacionados). De hecho, algunos desarrolladores de dispositivos con un ojo en la reducción de costos más que en la creación de empleos, han declarado que las estimaciones de EU-OEA pueden ser demasiado altas. Dada la incertidumbre en torno al desarrollo de la tecnología y, por ejemplo, a la definición del “empleo indirecto”, es difícil hacer predicciones exactas. Sin embargo, se puede hacer una estimación basada en supuestos adicionales, con el objetivo de evaluar los beneficios derivados en el caso que Chile asumiera un papel más activo en el desarrollo de la energía marina (Tabla 18).

Tabla 18: Empleos e inversión potenciales derivados de los diferentes escenarios de crecimiento

Escenario de estrategia	Capacidad instalada de energía marina (MW)		Empleos totales (directos e indirectos)		Inversión (millones de USD)	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
	Supuestos:		Empleos/MW		Millones de USD/MW	
			9	6	3	2
Desarrollo acelerado	46	719	418	4.453	139	1.484
Desarrollo	26	471	235	2.906	78	969
Implementación	2	194	18	1.171	6	390

10 Recomendaciones

Tal como se señala en la introducción, este proyecto buscar ofrecer una serie de recomendaciones específicas para lograr, en forma exitosa, el objetivo de una política estratégica (una "estrategia de desarrollo"), que estableció recientemente el Gobierno de Chile (ver Capítulo 3, página 12). En la Tabla 19 a continuación, a modo de formato de resumen, se presentan las actividades y acciones recomendadas en este informe.

Tabla 19: Lista de recomendaciones para este proyecto
(Las recomendaciones clasificadas como urgente se presentan en tipo negrita)

Ref.	Actividad	Posible(s) titular(es) de la toma de acción	Plazos de ejecución ⁴⁰	Página
Capítulo 1 – Introducción				
Capítulo 2 – Visión general				
2-A	Integración de las políticas de energías renovables con otras energías, políticas de desarrollo económico y regional; considerar los nuevos usos energéticos	Ministerio de Energía / CER	En desarrollo	8
2-B	Publicación anual sobre el estado de la industria	Ministerio de Energía / CER	En desarrollo	9
2-C	Definición del rol futuro que cumplirá la energía undimotriz y mareomotriz en Chile	Ministerio de Energía / CER	En desarrollo	11
2-D	Caracterización del recurso mareomotriz	Ministerio de Energía / CER	Corto plazo	11
Capítulo 3 – Estrategia de energía marina del Gobierno de Chile				
Capítulo 4 – Marco regulatorio				
4-A	Desarrollo de un marco regulatorio (implementación de las mejoras propuestas)	Gobierno de Chile	Corto plazo	17
4-B	Desarrollo de reglas claras para las concesiones de energía marina; reducción de la incertidumbre en torno a la transferencia de competencias desde SUBSECMAR (Ministerio de Defensa) al Ministerio Bienes Nacionales	Gobierno de Chile	Urgente	18
4-C	Capacitación de funcionarios clave con respecto a concesiones marinas	Gobierno de Chile	Corto plazo	19
4-D	Consulta para coordinar el arrendamiento	Gobierno de Chile	Corto plazo	22
4-E	Concesión de áreas prioritarias para el desarrollo de las energías marinas (Continúa en la siguiente página)	Gobierno de Chile	Mediano plazo	22

⁴⁰ Ver definiciones, página 5

4-F	Producción de un manual de permisos para proyectos de energía marina	CER	Corto plazo	24
4-G	Compartir la información para la aprobación de licencias	Gobierno de Chile	Corto plazo	24
4-H	Evaluación de Impacto Ambiental basado en riesgos	Ministerio del Medio Ambiente	Corto plazo	25
4-I	Consideración de los impactos generales de proyectos de energías marinas renovables en EIAs	Ministerio del Medio Ambiente	Corto plazo	26
4-J	Posible optimización del marco regulatorio para proyectos de energía marina	Gobierno de Chile	Mediano plazo	27
4-K	Derecho a voto para representante del Ministerio de Energía en las comisiones nacionales y regionales de uso del borde costero	CNUBC / CRUBC	Corto plazo	27
4-L	Identificación y designación de zonas prioritarias para energía marina	Ministerio de Energía / CNUBC / CRUBC	Corto plazo	28
4-M	Evaluación Ambiental Estratégica (SEA)	Ministerios del Medio Ambiente y Energía	Corto plazo	30
4-N	Creación de un atlas y un plan marino nacional para Chile	Gobierno de Chile	Corto a mediano plazo	30
4-O	Creación de un grupo de salud laboral y seguridad para el sector de la energía marina	Ministerio del Trabajo y Previsión Social	Corto plazo	31
4-P	Desarrollo de una estrategia de energía marina robusta; nombramiento de un equipo directivo para revisión, asesoría y publicación de avances	Ministerio de Energía / Grupo consultivo de estrategia	Urgente; En desarrollo	33
4-Q	Creación de un sub comité para la energía marina con las comisiones parlamentarias de energía	Gobierno de Chile	Corto plazo	33
4-R	Registro de proyectos y tecnologías de energías marinas	CONICYT y otros	En desarrollo	33
Capítulo 5 - Investigación, desarrollo e innovación				
5-A	Mediciones de los recursos de energía marina y batimetría del lecho marino	Industrias/ Universidades chilenas	En desarrollo	44
5-B	Estudio de costos de energía para emplazamientos undimotrices y mareomotrices	Ministerio de Energía / CEI	Corto plazo	46
5-C	Priorización de la investigación ambiental utilizando un enfoque basado en riesgos; creación de un grupo de trabajo para coordinar la investigación medioambiental <i>(Continúa en la siguiente página)</i>	Universidades chilenas/ CEI	En desarrollo	48

5-D	Nichos de mercado - desalinización y bombeo de agua a partir de energía undimotriz para la industria minera	Gobierno de Chile / CEI	Corto plazo	55
5-E	Nicho de mercado- desalinización a partir de energía undimotriz para el abastecimiento de agua potable	Gobierno de Chile / CEI	Corto plazo	55
5-F	Nichos de mercado - sistemas de energía marina para granjas salmoneras y otros usuarios aislados de energía	Gobierno de Chile / CEI	Corto plazo	56
5-G	Nichos de mercado - sistemas de energía marina para comunidades aisladas.	Gobierno de Chile / CEI	Corto plazo	58
5-H	Implementación de proyectos pilotos y coordinación con el CEI	Ministerio de Energía	Urgente	63
5-I	Establecer el CEI con el objetivo de liderar proyectos de investigación nacionales estratégicos; crear un plan nacional para las actividades de I+D+i relacionadas con la energía marina	InnovaCORFO	Urgente	63
5-J	Realizar conferencias de actividades de I+D+i sobre energías marinas periódicamente; publicar resultados de investigaciones	Comunidad chilena de I+D+i	En desarrollo	64
5-K	Formalizar vínculos con foros de energía marina existentes (EUOEA/UKERC)	Comunidad chilena de I+D+i	En desarrollo	64
5-L	Catálogo de desarrollo de capacidades e instalaciones de investigación	CONICYT y otros	Corto plazo	64
Capítulo 6 – Infraestructura y cadena de suministro				
6-A	Estudios de capacidad de la red eléctrica para las energías marinas (operadores de red eléctrica)	Operadores chilenos de la red eléctrica	Corto a mediano plazo	69
6-B	Estudios sobre la red eléctrica de la energía marina (CEI)	ICE	Corto a mediano plazo	70
6-C	Planificación de infraestructura y cadena de suministro	Gobiernos regionales / Dirección de Obras Portuarias	Corto a mediano plazo	72
6-D	Desarrollo de servicios marinos	Proveedores de servicios marinos y de embarcaciones	Corto a mediano plazo	75
6-E	Realizar eventos relacionados con la industria en forma regular; fortalecer los organismos de comercio y asociaciones de energías, y expandir estas entidades a nivel regional.	Comercio y organizaciones de apoyo	En desarrollo	78
6-F	Identificación y resolución de deficiencias de competencias requeridas para sector energía marina	Ministerios de Energía, Educación y Trabajo	Mediano plazo	79
6-G	Plan de formación en energías renovables (cursos y capacitación) <i>(Continúa en la siguiente página)</i>	Universidades chilenas/ CONICYT	Corto plazo	80

Capítulo 7 - Financiamiento				
7-A	Apoyo financiero para proyectos de energía marina sin conexión a la red eléctrica	Ministerio de Energía / CER Gobernaciones Regionales	Corto plazo	97
7-B	Apoyo financiero para proyectos de desalinización y bombeo de agua a partir de energía undimotriz		Corto plazo	97
7-C	Nuevos instrumentos de apoyo financiero para proyectos piloto de expansión de 10-30MW para el 2020	Gobierno de Chile	Mediano plazo	97
Capítulo 8 – Análisis Regional				
8-A	Desarrollo de la energía marina en Norte Grande	Gobierno Regional / CRUBC	Corto plazo	107
8-B	Desarrollo de energía marina en el Norte Chico	Gobierno Regional / CRUBC	Corto plazo	112
8-C	Desarrollo de la energía marina en Chile Central	Gobierno Regional / CRUBC	Corto plazo	117
8-D	Desarrollo de la energía marina en las islas chilenas del Pacífico	Gobierno Regional de Valparaíso / SASIPA	Corto plazo	120
8-E	Desarrollo de la energía marina en la Zona Centro Sur	Gobierno Regional / CRUBC	Corto plazo	123
8-F	Desarrollo de la energía marina en Los Lagos	Gobierno Regional de Los Lagos / CRUBC	Corto plazo	127
8-G	Desarrollo de la energía marina en Aysén	Gobierno Regional de Aysén / CRUBC	Corto plazo	132
8-H	Desarrollo de la energía marina en Magallanes	Gobierno Regional de Magallanes / CRUBC	Corto plazo	138
8-I	Identificar y reservar los mejores emplazamientos para proyectos de energía marina (Gobiernos Regionales)	Gobiernos Regionales / CRUBCs	Corto plazo	142
8-J	Evaluaciones regionales del potencial de desarrollo de la energía marina	Subsecretaría de Desarrollo Regional	Corto plazo	142
8-K	Programas regionales de desarrollo de la energía marina	ICE / Instituciones Regionales	Corto plazo	142
Capítulo 9 – Escenarios de posible crecimiento				
9-A	Predicciones y seguimiento del crecimiento de la energía marina	Ministerio de Energía / CER	En desarrollo	150
Capítulo 10 - Recomendaciones				
10-A	Re-evaluación de recomendaciones dado la evolución de circunstancias y conocimiento <i>(Continúa en la siguiente página)</i>	Ministerio de Energía / Grupo consultivo de estrategia	En desarrollo	156

Capítulo 11 - Conclusiones				
11-A	Revisión de las conclusiones dado la evolución de las circunstancias y conocimiento	Ministerio de Energía / Grupo consultivo de estrategia	En desarrollo	168

Recomendación 10-A: Re-evaluación de recomendaciones dado la evolución de circunstancias y conocimiento

Las recomendaciones presentadas en este informe están basadas en la investigación y consulta llevada a cabo en el año 2013, y sería beneficioso que se revisaran y actualizaran en forma regular, posiblemente por el **grupo consultivo de estrategia independiente** (Recomendación 4-P, página 33) y el **Ministerio de Energía**.

Ministerio de Energía / grupo consultivo de estrategia independiente

En desarrollo

11 Conclusiones

La posibilidad de que Chile produzca una cantidad significativa de energía renovable a partir de las olas y las mareas ha generado cada vez más interés, tanto nacional como internacionalmente durante los últimos años, potenciado por los niveles de recursos energéticos disponibles en Chile, el reciente progreso tecnológico internacional, junto con la visión, la motivación y el compromiso de algunas organizaciones y personas. Los beneficios esperados del desarrollo económico local de la implementación de energía marina, también, han logrado un creciente interés. Dada la temprana etapa en la que se encuentra el desarrollo de tecnologías de energía undimotriz y mareomotriz, existen diversos desafíos a superar antes de llevar a cabo proyectos comerciales en Chile. Aunque esto puede tomar tiempo, existe una sensación de urgencia por definir cuál podría ser la contribución eventual de la energía marina a la matriz energética de Chile, y cuál es el rol que Chile desea jugar en el desarrollo de la energía marina actualmente.

Este estudio combina el conocimiento sobre la situación energética en Chile, con la experiencia y el conocimiento obtenidos durante más de una década de actividad internacional en la energía marina, especialmente en Orkney, Reino Unido, donde se han implementado 20 dispositivos para la energía undimotriz y mareomotriz, y otorgado 11 áreas de uso comercial. Mucho se ha logrado en el Reino Unido, pero también, se han aprendido muchas lecciones. El objetivo de este estudio es aprovechar el conocimiento colectivo para proponer pasos que ayuden a maximizar el potencial de la energía marina en Chile.

Los contenidos y conocimientos de este estudio fueron respaldados por una amplia consulta y participación de los actores relevantes. El informe se organizó de manera de recopilar y entregar información relacionada con el desarrollo de la energía marina y se realizó en colaboración con el Ministerio de Energía, como un aporte al desarrollo de la estrategia para la energía marina de Chile. Este proyecto incluyó la participación de más de 200 organizaciones y personas mediante entrevistas y talleres realizados en nueve de las quince Regiones de Chile, con el fin de delinear recomendaciones para el desarrollo de la energía marina en Chile. Asimismo, se nutrió del conocimiento y la experiencia internacional del desarrollo de energía marina renovable en alrededor de 15 países, (ver Metodología del proyecto, Sección 1.4, página 3).

11.1 Situación energética en Chile

Para hacer frente a las presiones de la creciente y rápida demanda de electricidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; el modelo energético mundial sufrirá una revolución durante los próximos años. Además, Chile se ve enfrentado a sus propios problemas específicos, como la volatilidad de los precios relativamente altos de la electricidad y la seguridad energética relativamente baja, dada la dependencia de combustibles fósiles (ver Figura 1). Por otro lado, el mercado eléctrico chileno está liberalizado y opera en base a un modelo de costo marginal. Existen incentivos y metas para las Energías Renovables No Convencionales (y recientemente se han incrementado), sin embargo, son tecnológicamente neutrales y no están dirigidos a apoyar las tecnologías precomerciales, como la energía undimotriz y mareomotriz.

11.2 Recursos energéticos marinos en Chile

Tal como se ha demostrado en estudios anteriores (E&A/UoE, 2012), (Garrad Hassan, 2009), Chile tiene un considerable potencial para generar energía a partir de las olas, y en menor grado, de las mareas. Los recursos de energía renovable de Chile sobrepasan largamente la demanda actual de electricidad, y la energía de olas y mareas son cada vez más reconocidas, junto a otras formas de energías renovables, como alternativas sustentables al carbón, diesel y gas, para un suministro energético nacional independiente.

La energía undimotriz es el recurso renovable más importante de Chile. Se estiman 240 GW de potencial teórico bruto según un estudio realizado por Baird & Associates S.A., y la actividad del oleaje es lo suficientemente intensa como para producir energía en toda la costa del Pacífico. Se podría decir que Chile es el mejor lugar del mundo para la generación de energía undimotriz, con más de 4.000 km de costa expuesta a oleajes constantes y de alta energía, además de concentrar toda la demanda de energía en la costa, o relativamente cerca de ella. Los recursos de energía mareomotriz también son importantes, pero equivalen a una pequeña fracción del tamaño total de los recursos undimotrices. Las mayores corrientes de mareas se encuentran en el estrecho de Magallanes (velocidades de 8 a 9 nudos) y en el canal de Chacao (velocidades de 7 nudos) cerca de Puerto Montt. Sin embargo, se pueden encontrar corrientes de mareas menores, pero aprovechables, en cerca de 20 ubicaciones específicas en todo el sur de Chile. Estos recursos no se han estudiado en detalle, y se requiere de una mayor comprensión de ellos.

11.3 La tecnología actual y el costo de la energía

Las tecnologías de energía undimotriz y mareomotriz se encuentran en una etapa de desarrollo precomercial, y el costo de la energía producida a partir de estas fuentes es actualmente superior al costo de la electricidad en los sistemas de Chile. La tecnología de energía mareomotriz presenta un mayor desarrollo que la energía undimotriz, y se estima que su costo de generación es menor en la actualidad. Esto se puede entender, en parte, comparando sus principios de funcionamiento. Todos los dispositivos de energía mareomotriz exitosos generan electricidad a partir de turbinas giratorias en flujo. En este sentido, son similares a las turbinas eólicas, y la energía mareomotriz se ha favorecido de la transferencia de tecnología desde esa industria. El desafío de la energía undimotriz es generar electricidad a partir de oscilaciones de baja velocidad y de alta potencia; lo cual es un problema más complejo con una gama más diversa de soluciones de conversión energética.

El hecho de que la energía marina aún no se ha comercializado, significa que Chile tiene la oportunidad de jugar un papel relevante en su desarrollo y establecer una capacidad de fabricación que sería difícil de lograr en industrias más consolidadas, como la energía eólica y solar, donde el equipamiento es principalmente importado. Existen áreas específicas para el desarrollo de la energía marina que han recibido menor atención hasta ahora, y donde Chile podría alcanzar un rol de liderazgo; por ejemplo, en la desalinización, el bombeo de agua, o el desarrollo de sistemas pequeños para comunidades aislada

El equilibrio entre costos, ingresos, condiciones comerciales y alternativas competitivas determinará la viabilidad comercial de una tecnología en una determinada ubicación. Existen condiciones particulares en Chile que vale la pena considerar para mantener este equilibrio. Tanto el costo de la tecnología undimotriz y mareomotriz como las condiciones comerciales pueden ser muy diferentes en Chile comparados con, por ejemplo, el Reino Unido:

- El costo de la fuerza laboral en Chile es más bajo que en el Reino Unido, por lo tanto, los proyectos se podrían desarrollar a un costo menor.

- El costo de embarcaciones generales, tripulación y buzos, también, es menor en Chile que en muchos otros mercados.
- Existen varias zonas de libre comercio, además de incentivos tributarios en los extremos norte y sur de Chile.
- Los sitios que presentan mareas en Chile se encuentran más protegidos contra olas y elementos flotantes o en suspensión (hielo/árboles/sedimento) que muchos otros en zonas como Pentland Firth en el Reino Unido o la Bahía Fundy en Canadá), lo que, también, tenderá a reducir costos de construcción, instalación y mantenimiento.
- Es posible que la instalación y el mantenimiento de dispositivos de energía undimotriz en Chile suponga un mayor desafío que en otras áreas debido a la acción de las olas prácticamente incesante y la pendiente pronunciada del fondo marino, pero esto será compensado por el aumento importante en la producción.

Basado en el estudio comparativo entre Chile y el Reino Unido realizado como parte de este proyecto, se estima que el costo de la energía mareomotriz puede ser un 16% menor en Chile que en el Reino Unido (debido principalmente a los reducidos costos de la fuerza laboral y las embarcaciones estándares), y posiblemente un 30% menos en el caso de la energía undimotriz (debido a estos factores y al aumento en producción energética). A nivel global, se estima que los costos nivelados⁴¹ de la energía undimotriz y mareomotriz continuarán disminuyendo a medida que se instalen más dispositivos y se fomente la innovación. Al mismo tiempo, se cree que el costo de combustibles fósiles continuará aumentando, a pesar de los efectos recientes de los depósitos de gasíferos de esquisto en ciertos precios del gas. Otro efecto estabilizador de corto plazo en el costo de la electricidad en las dos principales redes eléctricas chilenas, es la interconexión planificada para el año 2018. Sin embargo, en un mediano y largo plazo es probable que continúe una tendencia en alza de precios, e inevitablemente, la presión para reducir emisiones de carbono, también, irá en aumento.

Según las tendencias actuales, la energía marina debería ser capaz de competir con otras formas de energía renovable en la red de electricidad principal para mediados de la década de 2020. Es probable que las aplicaciones de energía marina, donde los costos existentes son más altos (como el reemplazo de la generación de combustible diesel) o donde la energía de las olas se utiliza directamente (bombeo marino) sean viables antes de lo previsto. Es probable que la energía mareomotriz ya pueda competir con la generación mediante diesel en algunos casos, especialmente en áreas remotas.

⁴¹ Los costos nivelados consideran los costos de capital, operativos y costos de retirada de un proyecto compensado con la producción de energía durante la vida útil de un proyecto.

11.4 Estrategia de energía marina de Chile

“El Gobierno de Chile reconoce la importancia de desarrollar fuentes de energía renovable provenientes de su extenso recurso marino para mejorar la seguridad del suministro energético y mitigar el impacto en el cambio climático de la matriz energética nacional contribuyendo al desarrollo económico e industrial de la nación.

Para garantizar la maximización de los beneficios económicos asociados a la utilización del recurso energético marino del país, el Gobierno de Chile desea establecer una “Estrategia de Desarrollo para la Energía Renovable Marina”, que le permita al país apoyar el crecimiento del sector y tomar un rol participativo en el desarrollo de las tecnologías de energía marina en sus aguas territoriales.”

Declaración de la visión de la Estrategia Nacional de la Energía Marina (2013)

El hecho de que el Ministerio de Energía esté a pasos de establecer una estrategia de desarrollo para la energía marina es una evolución extremadamente favorable, así como es el plan del Ministerio de Energía para fomentar una coordinación interministerial sobre energía marina, ya que existen muchas políticas donde será necesaria la acción coordinada de los distintos ministerios del Gobierno para apoyar la industria de energía marina con éxito.

En tanto, es necesario que el Ministerio de Energía defina en su estrategia una serie de actividades cuya ejecución es responsabilidad de dicha cartera. Estas pueden incluir la identificación de barreras para el desarrollo de la energía marina y el establecimiento de grupos de trabajo con otros ministerios para enfrentar estas mismas barreras (por ejemplo, concesiones marítimas con el Ministerio de Defensa y el Ministerio de Bienes Nacionales), pero los cambios necesarios deben ser implementados por el ministerio responsable. Asimismo, se desprenden beneficios de la energía marina en términos de creación de empleos e inversiones que son centrales para la energía marina, pero que en el papel aparentan ser de mayor interés para el Ministerio de Economía que para su similar de Energía.

Puede ser beneficioso conformar un grupo independiente con la responsabilidad de monitorear el progreso del desarrollo de la energía marina y mantener actualizadas las recomendaciones estratégicas. Un grupo como tal, podría estar conformado por expertos y representantes de distintas entidades gubernamentales y no gubernamentales (incluyendo la industria y las universidades), similar al grupo de energía marina de Escocia. Sea que tal grupo esté impulsado por el Gobierno central o respaldado por las organizaciones adecuadas, un cuerpo de tales características podría tener la facultad de entregar recomendaciones independientes e influenciar las políticas de un modo que sería más difícil de lograr desde el propio Gobierno.

Mientras que el Gobierno de Chile establece y hace cumplir las metas para el suministro global de energía renovable, por lo general, se abstiene de establecer objetivos específicos para cada uno de los tipos de energía renovable, tales como la energía undimotriz o mareomotriz. La identificación de objetivos alcanzables puede ayudar a impulsar el sector, sin embargo, un grupo de estrategia de energía marina independiente podría estar en el lugar adecuado para proponer tales objetivos (aunque solo fueran aspiraciones) como parte de sus recomendaciones.

Estudio de caso 11-A: Desarrollo de la energía marina en el Reino Unido

El Reino Unido, en particular, Escocia, ha tomado una posición de liderazgo mundial en el desarrollo de la energía marina. Este estudio de caso examina los factores de éxito en Escocia y entrega lecciones de aprendizaje para el caso de Chile.

En la última década se ha visto un crecimiento constante en el número de soluciones tecnológicas de energía mareomotriz y undimotriz, y en los últimos dos años, este crecimiento ha aumentado de manera exponencial. En el Centro Europeo de Energía Marina de Orkney, las 14 pruebas de arreglos de dispositivos de energía undimotriz y mareomotriz están bajo contrato (EMEC, 2013). Asimismo, en la costa de Escocia, se le han concedido acuerdos por arrendamiento para proyectos de energía undimotriz y mareomotriz de más de 1.7. GW, a compañías tecnológicas de energía marina, organismos públicos, socios industriales y desarrolladores de proyectos.

Existen dos razones detrás de la rápida aceleración del sector de la energía marina en Escocia: en primer lugar, Escocia cuenta con una excelente posición geográfica en el borde del Océano Atlántico, que representa el 10% del oleaje europeo y el 25% de los recursos mareomotrices. En segundo lugar, aunque de igual importancia, el Gobierno de Escocia hizo un compromiso muy claro con respecto al desarrollo de la industria de la energía marina. Desde entonces, el Gobierno ha trabajado en estrecha colaboración con la industria para poner en marcha medidas normativas cruciales que le permitan a esta nueva industria su establecimiento y crecimiento.

Escocia tiene una larga historia en energía marina: en la década de 1970 (en un momento de alto costo del petróleo a raíz de la crisis de los precios de la OPEC), el profesor Stephen Salter de Edinburgh University hizo un prototipo de un dispositivo de energía undimotriz conocido como Salter Duck. El descubrimiento del petróleo en el Mar del Norte, sin embargo, puso un alto al programa de investigación de energía marina en el Reino Unido hasta que resurgió décadas más tarde con la instalación del dispositivo Limpet de 500 kW en la Isla de Islay en el año 2000.

No obstante, el significativo crecimiento del sector de la energía marina en Escocia en la última década se puede atribuir directamente al establecimiento de EMEC en Orkney en el año 2003, además, de la publicación del *Marine Energy Group Road Map (Plan de acción para el grupo de la energía marina)* del Gobierno de Escocia en 2004 (FREDS/MEG, 2009). El Grupo de Energía Marina reunió al Gobierno, las universidades, y la industria con el fin de comprender los desafíos y oportunidades de la energía marina y presentar recomendaciones claras sobre las medidas que debían ponerse en marcha. Estas recomendaciones fueron consideradas y formaron la base para la industria que actualmente vemos emerger.

El trabajo realizado por los desarrolladores tecnológicos de EMEC le ha permitido a Escocia que compruebe que la tecnología energético-marina funciona, mientras que el *Plan de acción para el grupo de la energía marina* junto con otras hojas de ruta han ayudado a poner en marcha las políticas y procesos que permiten el desarrollo del mercado de la energía marina.

Es fundamental para el progreso de la industria de energía marina que todas las medidas normativas sean desarrolladas en forma paralela; es improbable que un conjunto de medidas normativas parciales o descoordinadas entreguen el impulso político e industrial necesario para avanzar en el desarrollo de una industria de energía marina exitosa.

A modo de ejemplo, un sistema bien estructurado de autorizaciones y licencias, no asegura el desarrollo de la industria de energía marina al no existir acceso directo a la infraestructura de la red eléctrica. Asimismo, el acceso a la red eléctrica y un adecuado sistema de autorizaciones, no es suficiente para asegurar el éxito de una estrategia de desarrollo, si no existe el apoyo financiero para proyectos precomerciales (ver Recomendación 4-P, página 33).

11.5 Marco regulatorio

11.5.1 Concesiones marítimas

Sería beneficioso clarificar las normas para obtener concesiones marítimas para proyectos de energía marina, al igual que el impacto que tendrá la transferencia de la responsabilidad sobre estas desde SUBSECMAR (Ministerio de Defensa) al Ministerio de Bienes Nacionales. La discusión sobre ese cambio legislativo presenta una oportunidad para incorporar los asuntos relacionados con la energía marina, y para establecer un mecanismo que prevenga la solicitud de concesiones especulativas y la acumulación de recursos. Esto, en cierto grado, ha sido un problema no solo en la industria de la energía eólica y solar en Chile, sino que, también, en las primeras etapas de adjudicación de áreas para la energía marina a escala comercial en Escocia y Reino Unido. Un estudio reciente realizado por Philippi Abogados, considerando el desarrollo de proyectos de energía marina de un tamaño aproximado de 100 MW, concluyó que el proceso de garantizar las concesiones marítimas para tales proyectos (con la participación de diversas autoridades) es "lento, complejo e incierto", y que demoraría entre uno y dos años, como mínimo, en completarse. Sin embargo, algunos desarrolladores chilenos de dispositivos han implementado exitosamente prototipos a escala mediante las concesiones a corto plazo disponibles con fines de investigación o prospección. No obstante, es necesario tomar mayores consideraciones para proyectos menores a 100 MW los cuales serán los primeros en ser instalados.

11.5.2 Permisos y licencias:

En Chile existe una escasez de experiencia técnica que permita la implementación de dispositivos undimotrices o mareomotrices, lo que puede significar un potencial retraso en proyectos, y paralelamente, convertirse en una barrera para el desarrollo de las normas en relación a la energía marina. La experiencia internacional dicta que las agencias reguladoras pueden ser excesivamente cautelosas al realizar dicho proceso. Es esencial un enfoque centrado en el riesgo, que tome en cuenta la experiencia internacional al evaluar la implementación temprana de dispositivos, de lo contrario, existe el riesgo de que los proyectos se retrasen innecesariamente, ya que pueden incurrir en gastos excesivos necesarios para un proyecto, incluidos permisos de construcción, Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), permisos de navegación, concesiones eléctricas, etc. La estrategia que se encuentra realizando el Ministerio de Energía incluye propuestas para clarificar esta situación. Además de la guía para la evaluación del impacto ambiental en proceso de elaboración por el Ministerio del Medio Ambiente, resultaría conveniente producir un manual para los desarrolladores de proyectos donde se resuman los pasos necesarios para obtener la concesión, los permisos y las licencias necesarios para la realización de proyectos de energía marina en Chile⁴². Este proyecto también podría considerar la posibilidad de una simplificación del proceso de permisos y licencias, con el fin de reducir el número de licencias necesarias y los reguladores involucrados, y para permitir la consulta coordinada para reducir los plazos de determinación de licencias.

11.5.3 Planificación marina

Con el fin de identificar las áreas del país con el menor riesgo ambiental para proyectos de energía marina, se debe considerar una evaluación ambiental estratégica nacional. La combinación de esto con los resultados del estudio de infraestructura planificado, y la evaluación de los lugares donde se puedan implementar los proyectos de energía marina al menor costo, permitiría identificar las zonas de desarrollo prioritarias para la energía undimotriz y mareomotriz, en colaboración con las Comisiones Regionales y Nacional de Uso de Borde Costero (CRUBC/CNUBC). Se debería

⁴² Para este fin, Escocia ha redactado un documento Manual para el Otorgamiento de Licencias para Energía Renovable. Visite <http://www.scotland.gov.uk/Resource/0040/00405806.pdf>

otorgar derecho a voto a los representantes del Ministerio de Energía en estas comisiones, ya que en la actualidad solamente tienen estatus de observador (E&A/UoE, 2012).

11.5.4 General

Se debe considerar un equipo de trabajo encargado de la creación de una estructura de gestión y control de riesgos apropiada para el desarrollo de las energías marinas en Chile.

Resulta más eficaz aprender que replicar disposiciones normativas existentes (tanto internacional como nacionalmente desde otros sectores). Chile tiene la oportunidad de establecer estándares nuevos y apropiados para el sector de la energía marina que podrían dar origen a un modelo para otros países, siempre y cuando se logre un equilibrio entre control y facilitación. Los proyectos de energía marina pueden ofrecer una excelente oportunidad para la participación de las comunidades, y su involucración en el ámbito del desarrollo de proyectos y de selección de áreas.

11.6 Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

El objetivo del Ministerio de Energía y CORFO es consolidar las capacidades investigativas de Chile y fomentar el desarrollo de dispositivos especializados y capital humano mediante la aplicación de la investigación, desarrollo e innovación. El futuro Centro de Excelencia Internacional en Energía de los Mares es un factor clave en este ámbito, al igual que los diversos acuerdos internacionales que el Ministerio de Energía ha suscrito.

CONICYT en conjunto con las universidades chilenas deberían considerar la coordinación de esfuerzos investigativos en Chile con la industria de la energía marina internacional a través de colaboraciones con organizaciones tales como la EERA⁴³ y un proyecto similar, como por ejemplo, al del Centro de Investigación en Energía del Reino Unido (UKERC, 2012). CORFO podría contemplar una iniciativa como esta para la investigación, desarrollo e innovación aplicada.

La adaptación de la tecnología y la reducción de los costos es una prioridad, y los esfuerzos deberían centrarse en áreas que requieren soluciones específicas para Chile. Por ejemplo:

- Las largas longitudes de las olas afectarán la geometría de los dispositivos de energía undimotriz.
- La alta consistencia de las olas necesitará de nuevos métodos de instalación y mantenimiento que posean mayor resistencia.
- Las áreas de desarrollo de energía undimotriz en pendientes pronunciadas del lecho marino, requerirán nuevos diseños de anclaje.
- Se debe considerar el riesgo de sismos y tsunamis.
- Sería conveniente explorar la sinergia que ocurre entre las tecnologías de energía mareomotriz y la energía proveniente de ríos.

Se debe tomar en cuenta el apoyo al desarrollo y adaptación de dispositivos extranjeros a las condiciones chilenas, en paralelo al desarrollo de nuevas tecnologías en Chile. Con el fin de crear capacidades locales y reducir la dependencia de las importaciones, se deben identificar los bienes y servicios que se puedan producir o proveer en Chile, además de fomentar el desarrollo en estas áreas.

⁴³ Siglas de la organización European Energy Alliance, ver <http://eera-set.eu/>

Ya se han dado los primeros pasos hacia la comprensión de los recursos de energía marina en Chile, pero los recursos mareométricos todavía requieren de un estudio más profundo. Sería conveniente cartografiar la batimetría en el lecho marino en áreas de recursos clave y establecer patrones de distribución de energía undimotriz cerca de la línea costera (menos de 10 km). Las evaluaciones nacionales hasta la fecha solo han considerado los recursos marinos totales, por lo tanto, aún queda por identificar cuáles áreas son las más económicamente viables, lo que es necesario para respaldar la identificación de zonas de desarrollo prioritarias.

Debería priorizarse una investigación medioambiental enfocada en la sensibilidad, riesgo e incertidumbre locales actuales, asimismo, los estudios de línea de base deben considerar efectos probables y cuantificables. También, resulta importante difundir las características y beneficios de la energía marina para evitar conflictos originados por la falta de información.

Existe una serie de nichos de mercado dentro de la energía marina que han recibido relativamente poca atención a la fecha y donde Chile podría tomar un rol de liderazgo. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Uso de la energía undimotriz para la desalinización o bombeo marino: el Gobierno de Chile estima que para 2020, la industria minera del cobre requerirá 6,3 TWh /año solamente para este propósito.
- Desarrollo de sistemas de energía marina de pequeña escala para miles de comunidades aisladas, granjas salmoneras y sitios turísticos, con acceso limitado a energía y/o agua.

Se deben integrar y coordinar las actividades del Centro de Excelencia Internacional y los proyectos pilotos de olas y mareas con otros centros similares a nivel internacional para compartir el conocimiento aprendido y evitar esfuerzos innecesarios. Se debe determinar el grado en el que estas actividades deben apoyar la implementación de dispositivos en el futuro, por ejemplo, mediante sitios con permisos preliminares, el acceso a equipamiento para instalación, o mediante el uso de una infraestructura compartida o instalaciones de prueba de equipos (ver Recomendación 5-H, página 63).

11.7 Infraestructura y cadena de abastecimiento

11.7.1 Red eléctrica y otros mercados energéticos

En la actualidad, Chile está relativamente bien abastecido en capacidad de red eléctrica costera, con casi 50 puntos de conexión posibles a lo largo de la costa. Sin embargo, esta red se compone de 4 sistemas separados. La distancia entre los puntos de conexión puede ser de cientos de kilómetros, y muchas de las comunidades más remotas en la costa chilena no están conectadas a una red eléctrica. El Ministerio de Energía ha confirmado que se encuentra entre sus planes considerar los requerimientos de capacidad para la red eléctrica utilizando la energía marina, sin embargo, aún no se han anunciado iniciativas específicas.

Los proyectos de energía marina en el Reino Unido y otros países están sufriendo retrasos debido al acceso inadecuado a la red eléctrica, los acuerdos comerciales para la conexión de la red y el uso de los regímenes de carga de los sistemas, también, han demostrado ser barreras para la inversión, lo que causa retrasos y cancelaciones de proyectos. Por lo tanto, es conveniente analizar el sistema eléctrico chileno teniendo presente estos problemas, y considerando la mejor manera para evitarlos. Una solución puede ser la explotación de aquellos mercados fuera de la red eléctrica, como es el caso de comunidades aisladas, y las aplicaciones energéticas, tales como, la desalinización y el bombeo de agua y uso industrial directo o dedicado (incluyendo, en el caso de que sea necesario, conexiones de cableado eléctrico).

11.7.2 Infraestructura y cadena de abastecimiento

Uno de los planes del Ministerio de Energía es realizar un estudio sobre la infraestructura y los servicios para la energía marina. Los resultados de este estudio deben emplearse para fomentar la creación de una capacidad adecuada de la cadena de abastecimiento, la designación de zonas de desarrollo prioritarias y el enfoque en programas de investigación, desarrollo e innovación, y otras políticas de energía marina. El Ministerio de Obras Públicas debería considerar el desarrollo de capacidades y servicios para la energía marina en su próximo plan maestro de obras portuarias. Es importante considerar los requerimientos de la cadena de abastecimiento para el desarrollo de tecnologías al corto plazo (I+D+i) junto con los requerimientos para el desarrollo de proyectos más amplios y a mayor plazo, entre las que se incluyen evaluaciones, planificación, fabricación, instalación y servicios de mantenimiento, entre otros.

Se deben fortalecer lazos con instituciones internacionales activas en la capacitación sobre energía marina, con el fin de fomentar el desarrollo de capacidades en Chile. Sería conveniente que Chile Valora, el Ministerio de Educación y el Ministerio del Trabajo incluyeran la capacitación en energía marina (o más general, en energías renovables) en sus programas.

Las asociaciones comerciales pueden influir en la promoción del desarrollo de la industria, y aquellas que estén localizadas en Santiago, deberían considerar expandir sus actividades a aquellas regiones con mayor potencial para la energía marina.

11.8 **Financiamiento**

Teniendo en cuenta la etapa de desarrollo en la que se encuentra el sector de las energías marinas, el financiamiento se vuelve un factor clave. La mayor conciencia sobre el riesgo y los controles crediticios más estrictos han dificultado el aumento de financiamiento en los últimos años. Un apoyo económico relativamente menor del Gobierno puede influenciar significativamente a las inversiones del sector privado.

Los incentivos para las ERNC en Chile no apuntan a tecnologías precomerciales, pero influyen en los precios de recursos renovables en el mercado. Otros fondos existentes e iniciativas de I+D+i, han bastado para apoyar las pruebas de prototipos a escala de algunas empresas chilenas, además de diversos proyectos universitarios y otros estudios. Los USD 27 millones en fondos planificados para proyectos pilotos y la creación de un Centro de Excelencia Internacional representan un cambio notable en el nivel de inversión, lo que debería garantizar la primera gran implementación en el mar y un nivel continuo de actividad de I+D+i aplicada (ver Figura 8).

Otros países continúan ofreciendo importantes subsidios para la generación con energías marinas, lo cual probablemente no se verá replicado en Chile. En lugar de competir con el respaldo disponible internacionalmente para granjas conectadas a la red eléctrica, puede ser más conveniente para Chile si respalda proyectos en nichos del mercado energético local.

Para establecer una estrategia de desarrollo es necesario obtener el apoyo suficiente para proyectos precomerciales que permitan a Chile adoptar un rol más activo en el desarrollo de la energía marina. Como se muestra en la Figura 8 mediante los mecanismos de respaldo financiero actualmente disponibles, existe una potencial brecha en actividad entre el término de la fase de financiamiento de los proyectos pilotos y el comienzo de los proyectos comercialmente viables. Se necesitará establecer una base de apoyo más amplia. Es posible que Chile pueda buscar una estrategia de desarrollo que prescindiera de implementaciones subsidiadas de gran escala y precomerciales.

- El respaldo a proyectos de I+D+i que contribuyan a reducir el riesgo tecnológico y sus costos; lo cual se debe coordinar con la industria global de energía marina, que también, debería respaldar a los desarrolladores tecnológicos chilenos.
- La creación de nuevos estudios e instrumentos de financiamiento para respaldar el desarrollo de nichos de mercado en la energía marina, donde Chile cuenta con una ventaja natural y/o un mercado nacional importante, por ejemplo, en la desalinización mediante energía undimotriz, el bombeo de agua para la industria minera y los sistemas que cuentan con energía del mar para comunidades aisladas o granjas salmoneras.
- Mantener cierta actividad en el área más convencional de prototipos conectados a la red eléctrica a escala de MW, mediante el desarrollo de un nuevo instrumento de financiamiento para respaldar la expansión de los proyectos pilotos de energía undimotriz y mareomotriz planificados, que incluyan múltiples dispositivos (capacidad de 10 a 30 MW) en el mediano plazo, alrededor del año 2020.

11.9 Análisis regional

Chile es un extenso país con más de 4.000 km de línea costera. Algunas Regiones de Chile tienen un tamaño similar al territorio continental de Escocia, por lo que resulta imperativo que la política de energía marina tome en cuenta esta excepcional geografía.

11.9.1 Norte Grande / Norte Chico

En el norte de Chile, la demanda de agua y electricidad podría impulsar el desarrollo de plantas undimotrices (posiblemente combinadas) de generación eléctrica, desalinización y bombeo de agua. Se espera que la demanda en estas áreas aumente debido al crecimiento de la actividad minera. El alto costo de la electricidad y el agua, combinado con los beneficios tributarios y un entorno de operación menos desafiante, podrían viabilizar los proyectos de energía undimotriz antes que en regiones más australes. Los combustibles fósiles representan el 99% de la matriz energética en esta zona, por lo que existe una necesidad apremiante de aumentar la contribución de las energías renovables no convencionales en la red eléctrica. También, se debe considerar que casi la mitad de las comunidades aisladas en la Región de Antofagasta dependen del suministro de agua por camiones aljibes, y el potencial para la desalinización en base de energía undimotriz a escala comunitaria requiere de investigación.

11.9.2 Centro / Centro Sur

Es probable que la zona central de Chile tenga un rol clave en el desarrollo de la cadena de suministros de la energía marina del país, ya que las estructuras y los componentes de dispositivos pueden fabricarse en esta zona. Se requiere una planificación colaborativa entre el sector público y privado para promover el desarrollo de la industria local. Dada la alta densidad poblacional e intensidad de uso del borde costero en esta región, quizás el desafío más urgente es identificar y designar las áreas con mayor potencial para la energía undimotriz. La densidad poblacional disminuye hacia el sur, pero los niveles de energía undimotriz son más altos, hay mayor disponibilidad de lecho marino de una profundidad adecuada y, ya que los proyectos pueden conectarse al Sistema Interconectado Central de Chile (SIC), el potencial comercial de energía undimotriz se hace mayor.

11.9.3 Los Lagos

Los Lagos es una región estratégicamente importante para las energías marinas en Chile, ya que posee abundantes recursos para la energía undimotriz y mareomotriz. Esta región es una zona de transición entre las áreas más pobladas de Chile y la Patagonia. Existe un gran número de comunidades aisladas dispersas entre islas, fiordos y canales. El costo de la energía (producida

generalmente en base a diesel) es alto, por lo que existe un potencial interesante para las energías renovables, entre ellas la energía undimotriz y mareomotriz. El Canal de Chacao es el segundo sitio con potencial de corrientes de mareas más importante de Chile, después del estrecho de Magallanes. Los proyectos que se realicen en esta área pueden conectarse al SIC. Se deberá hacer un esfuerzo para diseñar un proyecto que sea aceptable ambiental y socialmente para esta área catalogada como sensible. Recientemente, se bloqueó un proyecto eólico costero-terrestre en Chiloé, debido a preocupaciones sobre posibles impactos al patrimonio arqueológico y las ballenas azules.

11.9.4 Aysén, Magallanes y las islas costeras

Aysén presenta corrientes de mareas considerables en las proximidades de las comunidades aisladas, granjas salmoneras o sitios turísticos, aunque históricamente no se le ha dado la importancia que merece al potencial de energía marina extraíble en esta área. En el estrecho de Magallanes se encuentra el mayor recurso mareomotriz de Chile, sin embargo, existen otros lugares más pequeños pero con un buen potencial, como los Canales Beagle y Fitzroy. Se requiere de una mayor comprensión de los recursos mareomotrices de estos lugares (al igual que el potencial de la energía de los ríos). Aunque los niveles de energía undimotriz en la costa del Pacífico son extremadamente altos en Aysén y Magallanes, estos sitios son relativamente inaccesibles y difíciles de desarrollar en el futuro cercano. Sin embargo, podría ser posible realizar proyectos de energía undimotriz más pequeños en lugares con menor potencial, como en el norte de Aysén, en partes más amplias del estrecho de Magallanes. Por otra parte, se debe investigar el potencial para la energía marina de islas lejanas a la costa de Chile, especialmente Isla de Pascua y Juan Fernández. Los Gobiernos Regionales de Chile y la Subsecretaría de Desarrollo Regional, deberían considerar el potencial para el suministro de energía y agua potable a partir de energías marinas renovables, como parte de la estrategia para las comunidades remotas. Se deberían identificar los emplazamientos más prometedores en coordinación con las Comisiones Regionales de Uso de Borde Costero, CRUBC.

Existe un potencial de energía marina interesante en las quince regiones de Chile (ver Tabla 17, página 141).

11.10 Crecimiento futuro de la energía marina en Chile

El costo de la energía marina disminuirá a medida que se instalen más dispositivos en el mundo, y se vaya dando cabida a la innovación. El punto en el que los proyectos se vuelven comercialmente viables en Chile dependerá, en gran medida, de los esfuerzos por reducir los costos que se hagan fuera de Chile, además de los futuros costos energéticos, los cuales son inciertos. No es posible determinar cómo se realizarán los futuros desarrollos, sin embargo, es evidente que el respaldo del Gobierno durante la etapa precomercial puede aumentar la actividad de instalación y apresurar el comienzo de los proyectos comerciales.

A medida que las tecnologías de energía mareomotriz se acerquen a la comercialización, es probable que inicialmente se instale mayor capacidad mareomotriz que undimotriz. Sin embargo, existe una cantidad limitada de sitios mareomotrices y, una vez que se comercialicen, la energía undimotriz podrá continuar su crecimiento con mayor rapidez (ver Figura 72, página 148).

En el análisis realizado, la actual política de energía marina de Chile constituye un escenario de **estrategia de implementación plus**, donde se realizan los cambios normativos y se respalda el aumento de la actividad de I+D+i, sin embargo, las instalaciones de dispositivos se pueden ver limitadas hasta la aparición de proyectos comerciales, probablemente a mediados de la década de 2020. Si se puede obtener mayor respaldo precomercial, por ejemplo, para apoyar los proyectos de nichos de mercado en el corto plazo y, quizás, lograr una expansión de entre 10 y 30 MW para los

proyectos pilotos en el mediano plazo. Esto se consideraría como un escenario **de estrategia de desarrollo** suficiente para que Chile obtenga los beneficios económicos asociados (por ejemplo, campo laboral e inversión) a un rol activo en el desarrollo de la energía marina. En el escenario más optimista, el apoyo a múltiples granjas precomerciales garantizaría un rol protagónico de Chile mediante una **estrategia de desarrollo acelerado** (ver gráficos en Investigación de los posibles escenarios de crecimiento, Capítulo 9, página 143).

Chile tiene una gran oportunidad de capitalizar en el crecimiento global de las tecnologías de la energías marinas y, de esta manera, participar en los esfuerzos comunes de los gobiernos, los organismos internacionales y los desarrolladores privados, para fomentar el desarrollo de un mercado de la energía marina a nivel internacional. Se espera que este informe apoye este trabajo y el desarrollo en curso de la estrategia de energía marina de Chile.

Recomendación 11-A: Revisión de las conclusiones dado la evolución de las circunstancias y conocimiento

Sería beneficioso revisar las conclusiones formuladas en este informe en forma regular, posiblemente por el Ministerio de Energía y el propuesto **grupo consultivo de estrategia independiente** (Recomendación 4-P, página 33)

Ministerio de Energía / Grupo consultivo de estrategia independiente

En desarrollo

12 Referencias

Acuña S, H. & Monárdez S, P., 2007. *Evaluation of the wave energy potential of Chile*. s.l., Chilean Society of Hydraulic Engineering.

AMEC/Carbon Trust, 2012. *UK Wave Energy Resource*, s.l.: s.n.

Aquamarine Power, 2009. *Socio-economic impact assessment of Aquamarine Power's Oyster Projects*, s.l.: SQWenergy.

Aquamarine Power, 2011. *Aquamarine Power*. [En línea]
Available at: <http://www.aquamarinepower.com/blog/why-nearshore/>
[Último acceso: March 2013].

Aquamarine Power, 2013. *Aquamarine Power*. [En línea]
Available at: <http://www.aquamarinepower.com/news/wave-energy-project-could-bring-hundreds-of-jobs-to-the-western-isles/>
[Último acceso: 26 12 2013].

Artículo 25 del Reglamento de Concesiones Marinas (s.f.).

Austral University, 2013. *Workshop on Environmental Effects of Marine Energy Extraction*. [En línea]
Available at:
<https://www.dropbox.com/sh/abextd4xvgfo2xs/5Va7W6s1SG/Rodrigo%20Hucke%20UAustral%20en%20Seminario%20Efectos%20Ambientales%20Energia%20Marina%20UC%202013.pdf>
[Último acceso: 21 09 2013].

Baird & Associates, 2012. *Wave energy map in intermediate and shallow water depth in Chile based on a 30 year long validated 2D spectral hindcast of the Pacific Ocean*. Dublin, H. Acuña, P.Monárdez and D.Zimmer.

BERR, 2008. *UK Marine Renewable Energy Resources Atlas*, s.l.: s.n.

BNamericas, 2013. *BNamericas*. [En línea]
Available at: <http://www.bnamericas.com/news/mining/desalinated-water-demand-from-chiles-mining-industry-set-to-explode-expert-says>
[Último acceso: 27 August 2013].

Bryden, I. & Couch, S., 2004. *Marine Energy Extraction: Tidal Resource Analysis*, Denver: WREC04.

Carbon Trust, 2006. *Future Marine Energy (CTC601)*, s.l.: s.n.

Carbon Trust, 2011. *Accelerating Marine Energy*. [En línea]
Available at: <http://www.carbontrust.com/resources/reports/technology/accelerating-marine-energy>

CDEC-SING, s.f. s.l.: s.n.

Central Energía, 2012. *Central Energía*. [En línea]
Available at: <http://www.centralenergia.cl/>
[Último acceso: 15 12 2013].

CER, 2011. *Triptico_Inv_A1*, Santiago: s.n.

Chilean Government, 2010. *Ministry of Labour and Social Security*. [En línea]
Available at: http://www.mintrab.gob.cl/?page_id=779
[Último acceso: 19 09 2013].

Chilean Government, 2012. *National Energy Strategy*. [En línea]
Available at: <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/national-energy-strategy-2012-2030.html>
[Último acceso: 20 09 2013].

Chilean Ministry of Energy, 2013. *Marine Energy Strategy Green Paper*. Version 3 ed. s.l.:s.n.

Chilean Navy, 2012. *ERNC - presente y futuro / The role of the maritime authority in the administration of the coast*. [En línea]
Available at: <http://enernc.usm.cl/arch/Ma04-03-Otto%20Mrugalski%20Meiser.pdf>
[Último acceso: 08 09 2013].

CNE & GTZ, 2009. *Las Energías Renovables No Convencionales en el Mercado Eléctrico Chileno*, Santiago de Chile: s.n.

Duport Associates Ltd, 2012. *Duport.co.uk*. [En línea]

Available at: <http://www.duport.co.uk/news-centre/2012/november/20121107-new-companies-booming-in-Orkney.php>

[Último acceso: 26 August 2013].

E&A/UoE, 2012. *Marine Energy Development - Taking Steps for Developing the Chilean Resource*, Santiago: Errazuriz & Asociados / The University of Edinburgh.

Electricity Networks Strategy Group, 2012. *Our Electricity Transmission Network: A Vision For 2020*. [En línea]

Available at: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48274/4263-ensgFull.pdf

EMEC, 2009. *Guidelines for Grid Connection of Marine Energy Conversion Systems*, London: Lyndon Greedy.

EMEC, 2013. *European Marine Energy Centre*. [En línea]

Available at: <http://www.emec.org.uk/about-us/emec-history/>

ETI/UKERC, 2010. *Marine Energy Technology Roadmap*, s.l.: Energy Technologies Institute and UK Energy Research Centre, University of Edinburgh.

EU-OEA, 2010. *Oceans of Energy*, s.l.: European Ocean Energy Association.

Forfás, 2011. *Report of the Research Prioritisation Steering Group*, s.l.: s.n.

FREDS/MEG, 2004. *Marine Energy Group: "Harnessing Scotland"s Marine Energy Potential"*, s.l.: s.n.

FREDS/MEG, 2009. *Marine Energy Roadmap (Scotland)*, s.l.: s.n.

FREDS/MEG, 2012. *Marine Energy Action Plan*. [En línea]

Available at: <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/17002/0028242.pdf>

[Último acceso: 29 09 2013].

Garrad Hassan, 2009. *Preliminary Site Selection - Chilean Marine Energy Resources*, s.l.: s.n.

GdC, 2013. *Estrategia Para el Desarrollo de Las Energías Marinas en Chile*, s.l.: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (GdC).

GENI, s.f. *Global Energy Network Institute*. [En línea]

Available at: https://www.geni.org/globalenergy/library/national_energy_grid/europe/graphics/euro_trans.GIF

[Último acceso: 2013].

Grant, A., Gilmartin, M., McGregor, P. & Swales, K., 2011. Levelised costs of Wave and Tidal energy in the UK: Cost competitiveness and the importance of "banded" Renewables Obligation Certificates. *Energy Policy, Volume 39, Issue 1*, January.

Guardian, 2012. *Guardian*. [En línea]

Available at: <http://www.theguardian.com/environment/2012/oct/17/cornwall-scotland-uk-wave-power>

[Último acceso: 24 12 2013].

GWl, 2011. *Water for Mining - Opportunities in scarcity and environmental regulation*, s.l.: Global Water Intelligence.

InvestChile CORFO, 2011. *amchamchile.cl*. [En línea]

Available at:

<http://www.amchamchile.cl/sites/default/files/Ppt%20Invest%20March%202011%20%20%28eng%291.pdf>

[Último acceso: 08 09 2013].

LCICG, 2012. *Technology Innovation Needs Assessment*, s.l.: Low Carbon Innovation Coordination Group.

Marine Scotland, 2011. *MARINE SCOTLAND POLICY DEVELOPMENT FOR MARINE RENEWABLE AND OFFSHORE WIND COVERING MARINE PLANNING AND LICENCING*, s.l.: s.n.

Marine Scotland, 2012. *Marine licensing and consents manual*. [En línea]

Available at: <http://www.scotland.gov.uk/Resource/0040/00405806.pdf>

[Último acceso: 20 09 2013].

Meiser, C. L. O. M., 2012. *EL ROL DE LA AUTORIDAD MARÍTIMA EN LA ADMINISTRACIÓN DEL BORDE COSTERO*, Viña del Mar: s.n.

Ministry of Energy, 2012. *"Revisión de políticas vigentes d EE", y análisis del Presupuesto 2012*, s.l.: s.n.

- Ministry of Mining, 2012. *Chilean Copper Commission*. [En línea]
Available at: <http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/energia/Proyeccion-consumo-energia-electrica-de-mineria.pdf>
[Último acceso: 06 10 2013].
- Monárdez, P., Acuña, H. & Scott, D., 2008. *Draft: evaluation of the potential of wave energy in Chile*. Estoril, OMEA.
- MSW, 2013. *Magic Seaweed*. [En línea]
Available at: <http://magicseaweed.com/Skail-Bay-Right-Surf-Guide/96/>; <http://magicseaweed.com/Andromeda-Surf-Guide/2293/>
[Último acceso: 27th August 2013].
- National Grid, 2011. *Connect and Manage Guidance Version 5.0*, s.l.: s.n.
- National Grid, 2007. *National Grid Seven Year Statement 2007*, s.l.: s.n.
- NETS, 2011. *2011 National Electricity Transmission System (NETS) Seven Year Statement*. [En línea]
Available at: <http://www.nationalgrid.com/uk/Electricity/SYS/current/>
- NNMREC, 2013. *Marine Renewable Energy and the Environment: Experience to Date*, Santiago: Northwest National Marine Renewable Energy Center, University of Washington.
- OECD, 2009. *Chile's National Innovation Council for Competitiveness - Interim Assessment and Outlook*, s.l.: s.n.
- Philippi Abogados, 2012. *Analysis of the regulatory framework for incorporating sources on non-conventional renewable energy in the Chilean sea*, Santiago: Philippi, Yrarrázaval, Pulido & Brunner.
- Polagye, B., Van Cleve, B., Copping, A. & Kirkendall, K., 2010. *Environmental effects of tidal energy development: Proceedings of a scientific workshop, March 22-25, 2010*. s.l., s.n.
- PWC, 2008. *Doing Business in Chile*, s.l.: s.n.
- Renewable Energy Centre, s.f. *correspondence*, s.l.: s.n.
- Renewable UK, 2011. *Working for a green Britain: Employment and Skills in the UK Wind and Marine Industries*, s.l.: s.n.
- Renewable UK, 2013. *Conquering Challenges, Generating Growth*, s.l.: s.n.
- Scottish Enterprise, 2005. *Marine Renewable (Wave and Tidal) Opportunity Review*, s.l.: s.n.
- Scottish Government, 2010. *Further Scottish Leasing Round (Saltire Prize Projects) - Executive Summary of the Scoping Study*, s.l.: s.n.
- Scottish Government, 2011. *The Scottish Government*. [En línea]
Available at: <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2011/03/16182005/0>
[Último acceso: 23 12 2013].
- Scottish Government, 2011. *www.gov.uk*. [En línea]
Available at: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48282/4485-scottish-planning-paper.pdf
[Último acceso: 22 09 2013].
- Scottish Government, 2012. *Pilot Pentland Firth and Orkney Waters Marine Spatial Plan - The Plan Scheme 2012*, Edinburgh: Marine Scotland.
- Scottish Government, 2012. *Survey, Deploy and Monitor Policy*. [En línea]
Available at: <http://www.scotland.gov.uk/Topics/marine/Licensing/marine/Applications/SDM>
[Último acceso: 22 09 2013].
- SE/HIE, 2010. *National Renewables Infrastructure Plan*, s.l.: Scottish Enterprise and Highlands and Islands Enterprise.
- SE/HIE, 2010. *National Renewables Infrastructure Plan Stage 2*, s.l.: s.n.
- SI OCEAN, 2013. *SI OCEAN*. [En línea]
Available at: http://si-ocean.eu/en/upload/docs/WP3/CoE%20report%203_2%20final.pdf
[Último acceso: 30 12 2013].

Recomendaciones para la Estrategia de Energía Marina de Chile: un plan de acción para su desarrollo

The Scottish Government, 2012. *Draft Marine Renewables Licensing Manual*. [En línea]
Available at: <http://www.scotland.gov.uk/Resource/0040/00405806.pdf>

UCSC, 2013. *ERNC presente y futuro*. [En línea]
Available at: <http://enernc.usm.cl/arch/Ma04-08-Marcelo%20Carro%20Donna.pdf>
[Último acceso: 21 09 21].

UK Government, 2010. *Marine Scotland*. [En línea]
Available at: http://www.legislation.gov.uk/asp/2010/5/pdfs/asp_20100005_en.pdf
[Último acceso: 22 09 2013].

UKERC, 2008. *UKERC Marine (Wave and Tidal) Renewable Energy Technology Roadmap*, s.l.: s.n.

UKERC, 2012. *Research Landscape: Marine Energy*. [En línea]
Available at: <http://ukerc.rl.ac.uk/Landscapes/Marine.pdf>
[Último acceso: 17 August 2013].

University of Chile, 2012. *Marine Energy Explorer ("Explorador de Energía Marina")*. [En línea]
Available at: <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Marino/>
[Último acceso: 23 12 2013].

University of Chile, 2013. *Explorador de Energía Marina*. [En línea]
Available at: <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Marino/>
[Último acceso: 28th June 2013].

University of Edinburgh, 2006. *Matching Renewable Electricity Generation With Demand*, Edinburgh: s.n.

Simbología para mapas (ver Capítulo 8, página 98 en adelante)

Wind farms (2013)
Granjas eólicas


-  Operational
En operación
-  Approved
Aprobado
-  Qualification Stage
En calificación

Solar farms (2013)
Granjas solares

-  Approved
Aprobado
-  Qualification Stage
En calificación

 Protected areas
Áreas protegidas


 Benthic protection areas
Áreas de protección bentónicas

 Desalination Plants
Plantas desalinizadoras

 Salmon farms
Granjas de salmón

 Fishing coves
Caletas pesqueras

 Ports with shipyard
Puertos con astillero

 Ports
Puertos

 Mines
Minas


 Oil/Gas Rigs
Plataformas petrolíferas/gas


 Refineries
Refinerías

 LNG terminals
Terminales GNL

Power stations
Centrales eléctricas

 Thermoelectric
Termoeléctricas

 Hydroelectric
Hidroeléctricas

 Substations
Subestaciones

Power lines
Líneas de transmisión eléctrica

 33KV

 44KV

 66KV

 100KV

 110KV

 154KV

 220KV

 500KV

Bathymetry
Batimetría

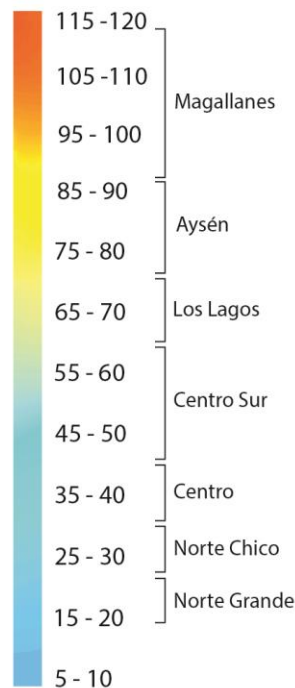
 -100m

 -1000m

Potential tidal energy sites
Sitios potenciales para energía mareomotriz

Wave power

Potencia undimotriz
[kW/m]*



Location/Localización	Peak flow/Flujo máximo (m/s)		Estimated mean kinetic power (MW) Potencia cinética media estimada
	Ebb tide Marea vaciante	Flood tide Marea creciente	
1. Robinson Crusoe	1.54	2.06	11.9
2. Isla Santa María	1.28	1.54	14.0
3. Canal de Chacao	4.63	2.57	800
4. Canal Calbuco	1.29	2.06	7.9
5. Estero Reloncaví	0.77	2.31	64.8
6. Canal Dalcahue	2.57	2.06	10.1
7. Bahía Quellón	0.51	2.06	2.7
8. Canal Chaiguao	0.51	2.06	5.0
9. Golfo Corcovado	0.51	2.06	31.1
10. Canal Carhunco	2.06	0.51	1.9
11. Canal Jacaf	0.51	2.57	89.2
12. Estero Elefantes	1.80	3.08	73.5
13. Angostura Inglesa	3.08	1.54	7.8
14. Angostura Kirke	4.63	6.17	33.2
15. Mal Paso	7.20	5.65	44.1
16. Canal Fitz Roy	2.16	1.54	6.3
17. Puerto Curtze	1.64	1.03	3.5
18. Isla Magdalena	1.03	2.06	14.7
19. Bahía Gente Grande	1.03	1.54	19.2
20. Segunda Angostura	2.06	2.57	734.7
21. Puerto Sara	2.06	2.57	514.5
22. Banco Tritón	1.03	2.06	7.1
23. Primera Angostura	2.57	4.11	1,727.2
24. Cabo Posesión	1.03	2.57	274.9
25. Punta Dungeness	1.03	2.06	31.1
26. Canal Beagle	1.03	1.54	42.8

*5kW/m is considered the minimum wave energy level feasible for generation

www.aquatera.co.uk

