



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias
Escuela de Biología Marina.

Profesor Patrocinante:

Msc (C) Pablo Reyes Lobao-Tello
Especialidad de Ingeniería Ambiental
Gerencia de Ingeniería
Endesa Chile

Profesor Co-Patrocinante:

Dr. Rodrigo Hucke-Gaete
Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Facultad de Ciencias
Universidad Austral de Chile

Profesor Informante:

Dr. Humberto González Estay
Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas
Facultad de Ciencias
Universidad Austral de Chile

**ENERGÍA UNDIMOTRIZ: EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL
FACTIBILIDAD AMBIENTAL EN CHILE**

Tesis de Grado presentada como parte
de los requisitos para optar al grado de
Licenciada en Biología Marina y
Título Profesional de *Bióloga Marina*.

CAROLL GARCIA BUSTOS
VALDIVIA – CHILE
2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Endesa, por darme la oportunidad de realizar mi práctica profesional y tesis en sus instalaciones, con ello a todas las personas del departamento de Ingeniería Ambiental y a otros departamentos que me brindaron su apoyo y ayuda en todo momento.

A Pablo Reyes, mi tutor de tesis. Sin duda un excelente profesional y por sobre todo muy buen amigo, el cual me brindo su apoyo en todo momento, incluso en los difíciles para él, alentándome a completar mi etapa estudiantil y entregándome las herramientas necesarias para terminar esta etapa. También al Dr. Rodrigo Hucke y Dr. Humberto Gonzalez por su ayuda en observaciones para esta tesis.

A mi linda familia, padres Raúl y Patricia, a mis tatas Risnel y Mirta, y a mi hermano Camilo, por su paciencia y apoyo incondicional, nunca dejaron de creer en mí y me alentaron día a día para cumplir este sueño, me han hecho una gran persona con tremendos valores, los amo. Y al resto de mi gran familia que siempre tuvieron una palabra de energía y fuerza, los quiero a todos.

A mi coke, por todo su apoyo, paciencia, comprensión, alegría y amor. Por estar en “esos momentos” de querer dejarlo todo... un pilar fundamental en esta etapa de mi vida, y sé que en muchas otras más, Te amo.

A mis amigas y amigos de universidad, por tantas alegrías, carretes, viajes, tardes de botánico, de estudio frustrado, etc. Cachañas hasta el final!! gracias por todo (Andrea, Pauly, Meli, Pancha, Katty, Karina (Roth), Jeane, Orina, Cote, Carlita, Chica, Pato, Beto, Thomy y a todos los que se me quedan en el tintero).

A mis amigas Carolina y Loreto (menciones honrosas), Pola, Meli y Gulz, por estos lindos años de amistad, consejos, llantos, risas y todo, por esta siempre ahí, en los buenos y malos momentos de vida. Las quiero.

A mis ex compañeros de “trabajo”, Ivon, Mario, Dany, Coni y Muriel me aceptaron, apoyaron e integraron como una más del equipo, son muy lindas personas y buenos amigos.

Finalmente a todas las personas que de alguna u otra manera me ayudaron en esta etapa de formarme como profesional, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

1 RESUMEN	1
ABSTRACT	2
2 INTRODUCCIÓN	3
HIPÓTESIS	10
4 OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo General	11
4.2 Objetivos Específicos	11
5 MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Área de estudio	12
5.2 Metodología	13
5.3 Metodología de Evaluación de Impacto Ambiental	15
6 RESULTADOS	22
6.1 Descripción del área de estudio	22
6.2 Elección de los dispositivos	24
6.3 Organismos marinos	43
6.4 Impacto: Electromagnetismo	48
6.5 Impacto: Ruido	66
6.6 Impacto: Contaminación por derrame de hidrocarburos	86
6.7 Impacto: Remoción de sedimento	94
6.8 Impacto: Cambio en el oleaje	103
6.9 Impacto: Limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos	106
6.10 Impacto: Calor provocado por el cable de transmisión	111

6.11 Impacto: Producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies	120
7 DISCUSIÓN.....	132
8 CONCLUSIÓN.....	141
9 BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXO	155

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC).

FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN CHILE.

FIGURA 3. DISPOSITIVO DE ORILLA “COLUMNA DE AGUA OSCILANTE”.

FIGURA 4. PLANTA TOFTESTALLEN, NORUEGA (1985), DISPOSITIVO DE ORILLA CON UNA POTENCIA INSTALADA DE 600 kW.

FIGURA 5. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO COSTERO OYSTER, ACOPLADO A LA SUBESTACIÓN EN TIERRA.

FIGURA 6. DISPOSITIVO COSTERO OYSTER EN TIERRA.

FIGURA 7. DISPOSITIVO COSTERO OYSTER OPERANDO EN EL MAR (BARRA AMARILLA HORIZONTAL), EN ISLAS ORKNEY, ESCOCIA, REINO UNIDO.

FIGURA 8. DISPOSITIVO OCEÁNICO PELAMIS OBSERVADO DESDE LA SUPERFICIE. AL FONDO SE OBSERVA UNA CIUDAD.

FIGURA 9. DIAGRAMA DE UN DISPOSITIVO OCEÁNICO PELAMIS Y SU SISTEMA DE ANCLAJE AL FONDO MARINO.

FIGURA 10. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN DISPOSITIVO OCEÁNICO PELAMIS. IMAGEN SUPERIOR MUESTRA FUNCIONAMIENTO EN SUPERFICIE, IMAGEN INFERIOR MUESTRA FUNCIONAMIENTO SEMI SUMERGIDO.

FIGURA 11. REPRESENTACIÓN DE UN HIPOTÉTICO “PARQUE” O “GRANJA” UNDIMOTRIZ DE DISPOSITIVOS PELAMIS OBSERVADO DESDE LA SUPERFICIE.

FIGURA 12. DISPOSITIVOS OCEÁNICOS WAVE BOB, VISTA DESDE LA SUPERFICIE.

FIGURA 13. DIAGRAMA DE UN DISPOSITIVO OCEÁNICO WAVEBOB Y SU SISTEMA DE ANCLAJE AL FONDO MARINO.

FIGURA 14. DISPOSITIVOS COSTEROS WAVEBOB OPERANDO EN EL MAR (PUNTOS AMARILLOS), EN LA COSTA DE IRLANDA, REINO UNIDO.

FIGURA 15. UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS GENERADORES DE ENERGÍA.

FIGURA 16. DISEÑO DE PELAMIS. ESCALA: 1: 2800 APROXIMADAMENTE.

FIGURA 17. PELAMIS EN ISLAS ORKNEY.

FIGURA 18. MODOS DE OPERACIÓN DE PELAMIS.

FIGURA 19. DISPOSITIVO WAVE BOB.

FIGURA 20. DISPOSITIVO WAVE BOB.

FIGURA 21. DISPOSITIVO WAVE BOB.

FIGURA 22. DISPOSITIVO OYSTER.

FIGURA 23. DISPOSITIVO OYSTER.

FIGURA 24. EJEMPLO DE DESPLAZAMIENTOS.

FIGURA 25. ESTATUS DE LAS AVES MARINAS POR REGIÓN Y A NIVEL NACIONAL, EL CUADRO ROJO MUESTRA LA ZONA DEL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC).

FIGURA 26. CABLE SUBMARINO DE TRANSMISIÓN DE CORRIENTE.

FIGURA 27. DISTINTAS PROFUNDIDADES A LAS CUALES PUEDEN LLEGAR LAS AVES ZAMBULLIDORAS Y NADADORAS PARA CAPTURAR A SUS PRESAS.

FIGURA 28. CURVAS QUE DESCRIBEN LA PRESIÓN WENZ, ADAPTADO A NIVELES DE DENSIDAD ESPECTRAL, RUIDO DEL AMBIENTE MARINO.

FIGURA 29. SUBESTACIÓN EN TIERRA (REFERENCIA).

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL IMPACTO.

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL IMPACTO SEGÚN SU SIGNIFICANCIA.

TABLA 3. LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO ELECTROMAGNETISMO SOBRE EL NECTON DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN.

TABLA 4. LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO ELECTROMAGNETISMO SOBRE EL PLANCTON DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN.

TABLA 5. LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO ELECTROMAGNETISMO SOBRE EL BENTOS DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN.

TABLA 6. LA SIGNIFICANCIA DEL IMPACTO ELECTROMAGNETISMO SOBRE LAS AVES DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN.

TABLA 7. LA SIGNIFICANCIA PARA EL IMPACTO DE RUIDO EN EL NECTON.

TABLA 8. LA SIGNIFICANCIA PARA EL IMPACTO DE RUIDO EN EL PLANCTON.

TABLA 9. LA SIGNIFICANCIA PARA EL IMPACTO DE RUIDO EN EL BENTOS.

TABLA 10. LA SIGNIFICANCIA PARA EL IMPACTO DE RUIDO EN LAS AVES.

TABLA 11. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL RUIDO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN EN EL NECTON.

TABLA 12. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL RUIDO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN EN EL PLANCTON.

TABLA 13. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL RUIDO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN EN EL BENTOS.

TABLA 14. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL RUIDO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN EN LAS AVES.

TABLA 15. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE CONTAMINACIÓN POR DERRAME HIDROCARBUROS EN EL NECTON.

TABLA 16. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE CONTAMINACIÓN POR DERRAME HIDROCARBUROS EN EL PLANCTON.

TABLA 17. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE CONTAMINACIÓN POR DERRAME DE HIDROCARBUROS EN EL BENTOS.

TABLA 18. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE CONTAMINACIÓN POR DERRAME DE HIDROCARBUROS EN LAS AVES.

TABLA 19. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE REMOCIÓN DE SEDIMENTO EN EL NECTON.

TABLA 20. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE REMOCIÓN DE SEDIMENTO EN EL PLANCTON.

TABLA 21. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE REMOCIÓN DE SEDIMENTO EN EL BENTOS.

TABLA 22. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE CAMBIO EN EL OLEAJE SOBRE EL BENTOS.

TABLA 23. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE LA LIMITACIÓN AL DESPLAZAMIENTO Y MIGRACIÓN DE LOS ORGANISMOS MARINOS EN EL NECTON.

TABLA 24. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE LA LIMITACIÓN AL DESPLAZAMIENTO Y MIGRACIÓN DE LOS ORGANISMOS MARINOS EN LAS AVES.

TABLA 25. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL CALOR PROVOCADO POR EL CABLE DE TRANSMISIÓN EN EL NECTON.

TABLA 26. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL CALOR PROVOCADO POR EL CABLE DE TRANSMISIÓN EN EL PLANCTON SERÍA LA SIGUIENTE:

TABLA 27. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DEL CALOR PROVOCADO POR EL CABLE DE TRANSMISIÓN EN EL BENTOS SERÍA LA SIGUIENTE:

TABLA 28. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE PRODUCCIÓN DE NUEVOS SUSTRATOS (CREACIÓN DE ARRECIFE ARTIFICIAL) PARA EL CRECIMIENTO Y ASENTAMIENTO DE ESPECIES EN EL NECTON.

TABLA 29. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE PRODUCCIÓN DE NUEVOS SUSTRATOS (CREACIÓN DE ARRECIFE ARTIFICIAL) PARA EL CRECIMIENTO Y ASENTAMIENTO DE ESPECIES EN EL PLANCTON.

TABLA 30. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE PRODUCCIÓN DE NUEVOS SUSTRATOS (CREACIÓN DE ARRECIFE ARTIFICIAL) PARA EL CRECIMIENTO Y ASENTAMIENTO DE ESPECIES EN EL BENTOS.

TABLA 31. LA SIGNIFICANCIA PARA EL EFECTO DE PRODUCCIÓN DE NUEVOS SUSTRATOS (CREACIÓN DE ARRECIFE ARTIFICIAL) PARA EL CRECIMIENTO Y ASENTAMIENTO DE ESPECIES EN LAS AVES.

TABLA 32. RESUMEN DE LOS IMPACTOS PRODUCIDOS POR EL DISPOSITIVO UNDIMOTRIZ AL INSTALARLO EN MAR.

1 RESUMEN

El borde costero de Chile posee uno de los potenciales más altos del mundo para la energía marina, el cual va aumentando de norte a sur llegando casi a los 110Kw/m para la energía undimotriz. Esta potencia presenta variaciones estacionales escasas comparadas con otros países (e.g. Reino unido), haciendo más factible la instalación de dispositivos generadores de energía en la costa Centro-Sur de nuestro país. Si bien esta es energía renovable no convencional, dichos dispositivos pueden causar alteraciones al ambiente marino afectando, de cierta medida, a grupos funcionales como necton, bentos, plancton y aves marinas. Es por esto que se evaluará como caso estudio a tres dispositivos undimotrices, los cuales presentan el mayor índice de eficiencia y han demostrado un rendimiento adecuado en sus respectivas ubicaciones: Pelamis, Wave Bob y Oyster, siendo los dos primeros de tipo oceánico (*off-shore*) y el último costero (*near-shore*).

Con respecto a lo investigado, es importante destacar que los impactos generados por estos dispositivos undimotrices poseen efectos tanto perjudiciales como favorables para el ambiente marino. La generación de ondas electromagnéticas producto del cable de transmisión de energía, el ruido, la remoción de sedimentos y el derrame de hidrocarburos son ejemplos de impactos que podrían provocar alteraciones negativas en los organismos marinos de la costa Centro-Sur de Chile. En cambio, la producción de nuevos sustratos se considera como factor que provocaría cambios positivos a dicho hábitat.

La intensidad de cada impacto fue calculada mediante el grado potencial de significancia, permitiendo establecer que la remoción de sedimentos provocaría mayor impacto a los organismos anteriormente nombrados.

ABSTRACT

The Chilean coastline has one of the highest potential of the world for marine energy, which increase from north to south reaching up to 110 Kw/w for wave energy. This potential power has small seasonal variations compared to other countries (e.g. UK), increasing the installation feasibility of energy-generating devices in the central-south coast of Chile. However, wave energy is a non-conventional renewable energy and its devices may cause alterations to the marine environment, affecting of in extent functional groups such as nekton, benthos, plankton and seabirds. For that reason, three wave energy devices have been evaluated as a case to assess potential environmental impact. Devices have highest efficiency rate and demonstrated adequate performance according to their specific location requirements: off-shore devices as Pelamis and Wave Bob; and near-shore in the case of Oyster.

Considering our results, is important to highlight that the potential impacts generated by these wave devices have both detrimental and favourable effects to the marine environment. Electromagnetic waves produced by the energy-transmission process, noise increase, sediment removal and oil spill are examples of negative impacts that may have impact in marine organisms inhabiting the coast. Otherwise, production of new substrates is considered as a factor that would lead to positive changes to the habitat.

The intensity of each impact was assessed with a potential level of significance, from where the sediments removal is documented as the major detrimental effect to the marine organisms previously mentioned.

2 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 20 años la demanda de energía eléctrica en Chile ha incrementado a una tasa anual promedio de 5,6% (Ley de transparencia, Comisión Nacional de Energía). Esta demanda ha sido satisfecha, hasta el momento, básicamente con nuevas fuentes de generación de energía hidráulica y térmica (*e.g.* hidroeléctricas Pangué y Ralco, termoeléctricas Mejillones y Hornitos).

Junto con la creciente necesidad de energía, han ocurrido otros fenómenos; (1) la creciente preocupación por el medio ambiente, en particular por el cambio climático global, y (2) el aumento en el consumo de energía eléctrica, tanto individual (*e.g.* teléfonos móviles que requieren carga diaria) como industrial (auge de la actividad minera en el norte grande de Chile, debido al alto precio del cobre). Respecto al primer punto, la principal herramienta de mitigación para el cambio climático global es el Protocolo de Kioto, cuyo objetivo es reducir las emisiones de seis gases invernadero, entre ellos, el dióxido de carbono (CO₂) y el gas metano (CH₄). El primer gas se asocia, entre otros, a la combustión de carbón y Diesel empleado en la generación termoeléctrica, el segundo a la descomposición de materia orgánica vegetal inundada por embalses de centrales hidroeléctricas, especialmente en áreas tropicales, donde la descomposición de la materia orgánica sumergida es más rápida que en aguas frías o templadas. Respecto al segundo punto, aun no hay consenso entre la ciudadanía, el Estado y los empresarios, aún cuando las cifras señalan que la producción de cobre en Chile disminuirá en 300.000 ton al año 2020 por falta de suministro eléctrico (Betancourt & Cochilco, 2013). En este sentido, el incremento de la demanda energética y el Protocolo de Kioto han incentivado el desarrollo de las

Energías Renovables no Convencionales (ERNC), cuya principal virtud es generar nada o pocos gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático global.

En esta línea, el Congreso chileno aprobó en abril de 2008 la Ley 20.257 de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), que establece un mínimo de generación del 10% para el 2015 y de un 20 % de energías renovables al 2025, entendiéndose por ERNC aquellas derivadas de generación geotérmica, eólica, solar, biomasa, pequeñas centrales hidroeléctricas (<20 Mega Watt (MW)) y cogeneración. Sumando a la definición de ERNC aquellas fuentes de energía provenientes de los mares; *“correspondiente a toda forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, de las olas y de las corrientes, así como la obtenida del gradiente térmico de los mares”*. Tras la promulgación de la Ley 20.257, la capacidad de generación instalada al 2009 en Chile alcanzó a 9.118 MW, de ella sólo 17,32 MW (0,19%) correspondió a ERNC (Hall *et al.* 2009). Se estima que con estímulos adecuados, Chile podría alcanzar aproximadamente los 10.803 MW de ERNC al año 2025. Para incentivar la inversión en ERNC, los Centros de Despacho Económico de Carga de Chile (CDEC) garantizan los precios de esta energía al largo plazo, asegurando al inversionista el riesgo que asume ante la incertidumbre de los precios del mercado.

Dentro de las ERNC definidas por la Ley 20.257 de Chile, se encuentra la energía undimotriz, que es aquella producida por acción de las olas. Chile cuenta con el mayor, o uno de los mayores potenciales de energía del oleaje a nivel mundial (Baird, 2010), debido su posición frontal respecto a la hoya del Pacífico, la más grande del mundo, lo que sumado a la ausencia de obstáculos geográficos importantes entre Asia y Chile, favorece la propagación de las ondas de

oleaje por grandes distancias, acumulando energía sin pérdida asociada, lo cual les permite alcanzar, por ejemplo, más de 120 kW/m^2 de superficie marina en la zona austral de Chile, con un potencial país de 164 TWh^1 .

En el mundo se han desarrollado más de cien dispositivos captadores de energía undimotriz, tanto a nivel conceptual, a nivel de ingeniería de detalle y a nivel piloto. Algunos de dichos dispositivos han llegado a operar a nivel comercial (*e.g.* Escocia, Portugal, Hawaii, España, entre otros). Así, asumiendo que la tecnología se encuentra relativamente madura, Chile posee un potencial energético undimotriz excepcional y existiendo un marco legal que asegura a los inversionistas en ERNC un retorno económico adecuado, entonces, se puede prever con baja incertidumbre que la energía undimotriz es un recurso que en un futuro cercano podría comenzar a ser explotado en Chile.

Si bien la energía undimotriz es una ERNC, al no generar gases invernadero, no es una tecnología libre de impactos ambientales, tal como se ha visto en otras ERNC. Por ejemplo, en octubre de 2009 la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA) de Antofagasta decidió la paralización indefinida del proyecto “Perforación Geotérmica Profunda El Tatio Fase I”, tras la fumarola artificial de 60 metros que se originó en esta importante zona turística, a raíz de los

¹ El terawatts o teravatios hora (TWh) corresponden a un trillón (10^{12}) de vatios o watts hora (Wh). En 2006 el consumo total de los seres humanos en el mundo correspondió a unos 16 TWh. Los picos de energía de un relámpago corresponden a 1 TWh, pero sólo duran 30 microsegundos.

trabajos de la sociedad Geotérmica del Norte (GDN). En enero de 2012 la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de O'Higgins rechazó la instalación de la central de biomasa de Pichidegua tras la reclamación de un comité de privados de la zona. En marzo de 2012 la Corte Suprema paralizó la construcción del Parque Eólico Chiloé, en la localidad de Mar Brava, comuna de Ancud, por los impactos negativos que tendrían las turbinas eólicas sobre la fauna marina y comunidades indígenas (Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA)) (2014).

Sin duda la energía del mar más conocida actualmente en Chile es la energía mareomotriz (generada por acción de las corrientes o masas de agua en desplazamiento), siendo poco conocida aún la undimotriz (generada por acción del oleaje). Las ventajas más importantes de la energía mareomotriz es que sus plantas de generación tienen las características convencionales de cualquier central hidroeléctrica (turbinas accionadas por acción del agua que pasa por ellas). Además, responden de forma rápida y eficiente a los cambios de carga², generan energía libre de contaminación, y son independientes de las variaciones estacionales o anuales (como ocurre en las centrales hidroeléctricas, que dependen de las precipitaciones, o las centrales termoeléctricas que dependes del abastecimiento de carbón). Adicionalmente, tienen un mantenimiento bajo y una vida útil ilimitada. En resumen, la energía mareomotriz se auto-renueva, no contamina, es silenciosa, la materia prima es la marea del mar, recurso “gratuito”, funciona en cualquier clima y

² La pérdida de carga en una tubería o canal, es la pérdida de presión en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce, en este caso, hasta la turbina.

época del año, y ayuda para que no haya inundaciones, al controlar grandes crecidas en áreas costeras y estuarinas.

En ese entendido, es atinente preguntar ¿por qué se analiza la energía undimotriz y no la energía mareomotriz?, precisamente, por los impactos ambientales que genera el primer tipo de energía (e.g. cambios en el ecosistemas costeros y estuarinos, e impactos antrópicos (visuales y estructurales) sobre el paisaje costero), en comparación a la energía undimotriz, cuyos impactos ambientales son mínimos o difíciles de detectar, tal como lo demuestra la experiencia internacional. Por ejemplo; en el estuario del río Rance (Bretaña, Francia) se instaló una central eléctrica de energía mareomotriz DTP³ el año 1967, produciendo electricidad para cubrir el 9% de las necesidades de Bretaña. El coste del kW/h resultó similar o más barato que el de una central eléctrica convencional (hidroeléctrica o termoeléctrica, dependiendo de la pluviometría o el precio internacional del carbón), sin emisiones de gases invernadero y sin los riesgos de las centrales nucleares⁴. El estuario del río Rance fue considerado para la instalación de una planta DTP ya que en el lugar la diferencia de marea alcanza 13 metros. El impacto ambiental fue

³ La energía mareomotriz dinámica (*Dynamic tidal power* o DTP, por sus siglas en inglés) es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea. Se propone que las presas muy largas (por ejemplo: 30 a 50 km de longitud) se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área. Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante (por lo menos 2,3 metros) en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea Del Sur. Cada represa genera energía en una escala de 6 a 17 GW.

⁴ Ejemplos de accidentes nucleares son: Mayak, Rusia (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas URSS, 1957); Windscale, Inglaterra (Gran Bretaña, 1957); Three Mile Island, Pensilvania (Estados Unidos de Norteamérica, 1979); Goiania (Brasil, 1987); Chernobyl, Ucrania (URSS, 1986); Tokaimura (Japón, 1999); Fukushima (Japón, 2011), entre otros.

considerado grave, por los cambios en la dinámica de los sedimentos, los cambios de salinidad en el estuario y en sus proximidades y cambio físico del ecosistema antes y después de las instalaciones. Otros proyectos similares, como el de una central de mayor tamaño prevista en Francia en la zona del monte *Saint-Michel*, o el de la bahía de *Fundy*, en Canadá, donde se dan hasta 15 metros de diferencia de marea, o el del estuario del río *Severn*, en el Reino Unido, no han llegado a ejecutarse por el riesgo de impacto ambiental negativo observado en Rance.

Respecto a la energía undimotriz, se asume que esta podría generar ciertos impactos sobre el medio ambiente marino, algunos pueden ser beneficiosos y otros potencialmente adversos (Thorpe, 1999). Por ello, estos deben ser evaluados antes de su desarrollo en Chile (con el objeto de disminuir la “incertidumbre ambiental”, entre los impactos descritos se encuentran; generación de ondas electromagnéticas producto del cable de transmisión de energía desde el dispositivo generador situado en el mar hasta una subestación eléctrica ubicada en la costa, generación de arrecifes artificiales por acción de los sistemas de anclaje y fondeo de los dispositivos, interferencia en rutas de desplazamiento o migración de necton, entre otros. En dicho sentido, el objetivo de esta tesis será determinar si es ambientalmente factible el uso de esta ERNC en Chile, en el área del Sistema Interconectado Central (SIC) y, si los impactos sobre el medio marino serán positivos o negativos, y significativos o no significativos.

Para este trabajo se han escogido como caso de estudio los tres dispositivos undimotrices que presentan mayor eficiencia y han demostrado buen rendimiento en sus respectivas ubicaciones; Pelamis, Wave Bob y Oyster, los dos primeros son de tipo oceánicos (*off-shore*); es decir, operan

“mar adentro” (sobre la plataforma continental, donde la profundidad sea entre 50 y 100 m); y el último es costero (*near-shore*), es decir, opera “cerca de la costa” (en profundidades menores a 50 m)⁵. Estos dispositivos generadores de energía podrían generar impactos negativos sobre el medio ambiente marino, en los grupos funcionales plancton, necton, bentos y aves.

⁵ La distancia desde la costa dependerá de la morfología de la plataforma continental, que varía latitudinalmente en Chile, por lo cual no se puede asumir como una constante.

HIPÓTESIS

En base a la literatura disponible, la instalación de dispositivos generadores de energía undimotriz provocaría alteraciones ambientales que se traducen en impactos negativos en los organismos marinos de la costa centro-sur de Chile.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar si la implementación de alguno de los tres dispositivos de generación undimotriz seleccionados, generaría impactos ambientales significativos en los organismos marinos de la costa centro-sur de Chile, en base a un extenso análisis de información disponible a la fecha.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar cuáles son los impactos ambientales y la potencial significancia que podrían provocar los tres dispositivos de generación undimotriz seleccionados en los organismos marinos de la costa centro-sur de Chile;
- Determinar cuál es el tipo de generador undimotriz más amigable con el medio ambiente marino y establecer si es ambientalmente sostenible su desarrollo en la costa centro-sur de Chile.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El área a utilizar para determinar si es o no ambientalmente posible la instalación de dispositivos undimotrices es la zona centro-sur de Chile, abarca desde Taltal (Región de Antofagasta) hasta Chiloé (Región de Los Lagos), que corresponde al área más probable para el desarrollo de iniciativas de generación undimotriz, debido a la cercanía del Sistema Interconectado Central (SIC) (Figura 1) y su buen potencial undimotriz (Baird, 2010).

El área ubicada al norte de Taltal presenta bajo potencial undimotriz (kW/m^2), lo cual la hace poco atractiva para los inversionistas. El área ubicada al sur de Chiloé no cuenta con sistema interconectado (líneas de transmisión) para transportar la energía a otras áreas del país, por lo cual no es factible su uso desde el punto de vista técnico o económico.

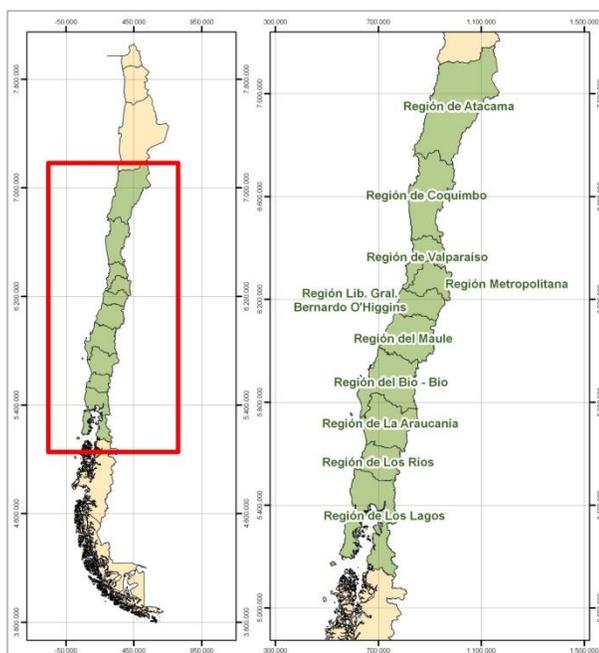


Figura 1. Sistema interconectado central (SIC).

5.2 Metodología

Después de efectuar una revisión bibliográfica acerca de los dispositivos generadores de energía undimotriz existentes a nivel mundial (Informe de Práctica Profesional de la Autora (2011) Código IMA 11266-03-03-IMAL-OTR-00001 Versión A⁶), se escogieron los tres más utilizados a nivel mundial (debido al grado de madurez que presenta la tecnología). Dos de estos dispositivos (Pelamis y Wave Bob) generan la electricidad mar afuera, empleando la energía potencial de las ondas, la cual se transporta mediante un cable submarino hacia una subestación eléctrica en tierra. El tercer dispositivo (Oyster) emplea la energía potencial de las olas para impulsar agua a

⁶ Código interno de Endesa Chile para los informes técnicos ambientales, como el citado.

presión (a través de una cañería) hasta una turbina hidráulica instalada en tierra, donde se genera la electricidad; es decir, no requiere transportar electricidad mediante un cable submarino.

Se describirán los tres dispositivos de generación undimotriz seleccionados, su ubicación en el mar (distancia del dispositivo desde la costa hacia mar afuera y su profundidad nominal de operación), su modo de instalación, su modo de operación (funcionamiento) y su modo de generación.

Los grupos funcionales que se utilizarán para evaluar el impacto de estos dispositivos en la costa centro-sur de Chile son: bentos (*e.g.* equinodermos, moluscos, algas, esponjas, hidrozoarios, crustáceos, entre otros), plancton (fitoplancton y zooplancton), necton (mamíferos marinos, tortugas, pingüinos, peces osteíctios y condriictios, entre otros) y aves marinas (*e.g.* albatros, pelicanos, gaviotas, fardelas, petreles, entre otros).

En base a las características de cada dispositivo y los cuatro grupos funcionales identificados en la costa chilena, se determinará como podrían interactuar los dispositivos con los grupos funcionales, durante la construcción y operación. De acuerdo a esta descripción, se identificarán los impactos ambientales asociados a la instalación de estos dispositivos, serán evaluados y se clasificarán en base a su grado de significancia (alta, media, baja/ positiva o negativa) y carácter (positivo o negativo).

5.3 Metodología de Evaluación de Impacto Ambiental

La caracterización de los impactos ambientales se basó en el documento “Manual para la elaboración de estudios de impacto ambiental” (Ormazábal, 2003), el que constituye la guía matriz, usada y aceptada por los organismos evaluadores del Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales (SEIA) del Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), entre ellos, los organismos sectoriales con competencia en el ámbito marino (*e.g.* Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de Chile, (DIRECTEMAR), de la Armada de Chile).

La caracterización de Ormazábal (2003) se basa en los siguientes criterios:

- **Carácter (Ca):** Este criterio indica si un impacto es benéfico o dañino para el componente ambiental receptor:
 - Positivo (+1): impacto que implica un mejoramiento o recuperación respecto de la condición basal; y
 - Negativo (-1): impacto que implica un deterioro respecto de la condición basal.

- **Relevancia del Componente (RC):** Este criterio analiza la relevancia de los componentes ambientales en función de su valor ambiental. Este valor integra una serie de criterios, dependiendo del componente analizado, entre los cuales se cuenta: la

relevancia para otros componentes y para el medio ambiente; la representatividad a nivel local y regional; la abundancia; el estado de conservación; entre otros:

- Baja (1): cuando el componente tiene una pobre calidad basal; no es relevante para otros componentes; no está protegido; y es muy abundante;
 - Media (5): cuando el componente tiene una calidad basal media; es relativamente importante para otros componentes; está amenazado; y es poco abundante, pero no escaso; y
 - Alta (10): cuando el componente tiene una alta calidad basal, es relevante para otros componentes, está protegido y es escaso.
- **Intensidad (In):** Este criterio refleja el grado de alteración de una variable a causa de una acción del proyecto, independientemente de la extensión geográfica del impacto:
 - Baja (1): cuando el grado de alteración es pequeño y la condición original del componente prácticamente se mantiene⁷;
 - Media (5): cuando el grado de alteración implica cambios notorios con respecto a la condición basal, pero dentro de rangos aceptables⁸; y
 - Alta (10): cuando el grado de alteración de la condición basal es significativa.

⁷ Se “mantiene” adentro de los rangos de la desviación estándar de abundancia y riqueza de especies (diversidad) determinada en la línea base. Por esta razón la cantidad de campañas de terreno de la línea base debe ser robusta, en distintas estaciones climáticas y cubrir un área geográfica satisfactoria.

⁸ Por “rangos aceptables” se entiende que el “cambio” generado por el proyecto no sea estadísticamente significativo, entre antes y después de su ejecución.

- **Extensión (Ex):** Este parámetro define la superficie o envergadura del componente afectado por el impacto; es decir, corresponde al porcentaje que representa el componente afectado dentro de su área o ámbito de evaluación:
 - 1: cuando influye en menos del 10% del área de influencia del elemento o componente;
 - 2: cuando influye en más del 10% y menos del 20% del área de influencia del elemento o componente;
 - 3: cuando influye en más del 20% y menos del 30% del área de influencia del elemento o componente;
 - 4: cuando influye en más del 30% y menos del 40% del área de influencia del elemento o componente;
 - 5: cuando influye en más del 40% y menos del 50% del área de influencia del elemento o componente;
 - 6: cuando influye en más del 50% y menos del 60% del área de influencia del elemento o componente;
 - 7: cuando influye en más del 60% y menos del 70% del área de influencia del elemento o componente;
 - 8: cuando influye en más del 70% y menos del 80% del área de influencia del elemento o componente;

- 9: cuando influye en más del 80% y menos del 90% del área de influencia del elemento o componente; y
 - 10: cuando influye en más del 90% y hasta el 100% del área de influencia del elemento o componente.
- **Desarrollo (De):** Este criterio se refiere al tiempo en que el impacto tarda en desarrollarse completamente; es decir, califica la forma cómo evolucionará el impacto, desde que se inicia o se manifiesta, hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias:
 - Largo plazo (1): aquel cuya incidencia puede manifestarse en más de 10 años;
 - Mediano plazo (4): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de 10 años y más de cinco años;
 - Corto plazo (7): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de cinco años y más de un año; y
 - Inmediato (10): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de un año.
 - **Duración (Du):** Este criterio se refiere al período durante el cual se produce o manifiesta el impacto:
 - Inmediato (1): aquel cuyo efecto dura un año o menos;
 - Corto Plazo (4): aquel cuyo efecto dura entre uno y cinco años;
 - Mediano Plazo (7): aquel cuyo efecto dura entre cinco y 10 años; y

- Largo Plazo (10): aquel cuyo efecto dura más de 10 años;

- **Reversibilidad (Re):** Este criterio indica la posibilidad que el componente ambiental afectado recupere características similares a su condición basal, ya sea naturalmente o por acción antrópica:
 - Reversibilidad inmediata (1): aquel en que la alteración prevista, recupera su condición basal inmediatamente después que cesa la actividad que genera el impacto;
 - Reversible (4): aquel en que la alteración prevista, puede ser asimilada por el entorno en menos de 10 años, debido al funcionamiento de los procesos naturales o mediante acciones correctoras;
 - Recuperable (7): aquel en que la alteración prevista, puede ser asimilada por el entorno en más de 10 años, debido al funcionamiento de los procesos naturales o mediante acciones correctoras; e
 - Irreversible (10): impacto que no se revierte en forma natural después de terminada la acción que lo genera, y tampoco mediante acciones correctoras.

Tabla 1. Definición de las características del impacto.

Parámetro		Escala de medición	%
Nombre	Acrónimo		
Carácter	(Ca)	Positivo (+1), Negativo (-1)	-
Relevancia del componente	(RC)	Baja (1), Media (5), Alta (10)	30
Intensidad	(In)	Baja (1), Media (5), Alta (10)	15
Extensión	(Ex)	1 (- del 10% del ámbito de evaluación)	20
		2 (10% - 20% del ámbito de evaluación)	
		3 (20% - 30% del ámbito de evaluación)	
		4 (30% - 40% del ámbito de evaluación)	
		5 (40% - 50% del ámbito de evaluación)	
		6 (50% - 60% del ámbito de evaluación)	
		7 (60% - 70% del ámbito de evaluación)	
		8 (70% - 80% del ámbito de evaluación)	
		9 (80% - 90% del ámbito de evaluación)	
		10 (+ del 90% del ámbito de evaluación)	
Desarrollo	(De)	Largo plazo (1), Mediano plazo (4), Corto plazo (7), Inmediato (10)	5
Duración	(Du)	Corto plazo (1), Mediano plazo (4), Largo plazo (7), Indefinido (10)	10
Reversibilidad	(Re)	Reversibilidad inmediata (1), Reversible a corto plazo (4), Reversible a mediano plazo (7), Irreversible (10)	20
Cálculo de la Significancia	(Sig)	$Sig = Ca * (RC * W_{RC} + In * W_I + Ex * W_E + De * W_D + Du * W_{Du} + Re * W_{Re})$	

En el cálculo de la significancia, W_{RC} , W_I , W_E , W_D , W_{Du} y W_{Re} corresponden a los factores ponderados de importancia de los criterios (%), los cuales fueron estimados basándose en la importancia atribuida por el autor a cada uno de los criterios. El valor asignado a cada uno de los factores de importancia es: W_{RC} : 0,30 W_I : 0,15; W_E : 0,20; W_{De} : 0,05; W_{Du} : 0,10; y W_{Re} : 0,20.

Tabla 2. Clasificación del impacto según su significancia.

Significancia (valor absoluto)	Clasificación de impactos
entre 1 y 2,04	No significativo
entre 2,05 y 4,04	Poco significativo
entre 4,05 y 6,04	Medianamente significativo
entre 6,05 y 8,04	Significativo
entre 8,05 y 10	Muy significativo

6 RESULTADOS

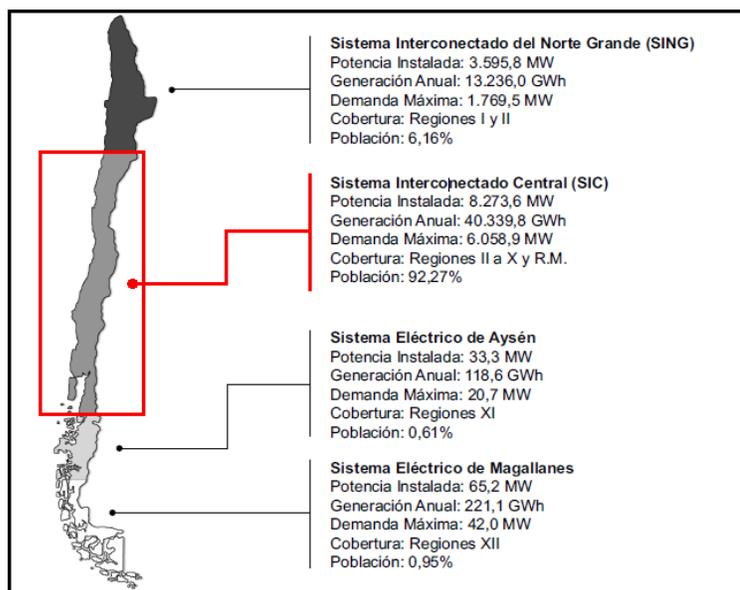
6.1 Descripción del área de estudio.

Un sistema eléctrico es el conjunto de instalaciones de centrales eléctricas generadoras, líneas de transporte, subestaciones eléctricas y líneas de distribución, interconectadas entre sí, que permite generar, transportar y distribuir energía eléctrica (CNE/GTZ, 2009).

En Chile existen cuatro sistemas eléctricos interconectados independientes, estos se distribuyen desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes y la Antártica Chilena, y se dividen en cuatro grupos:

- *El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)* abastece las Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Antofagasta, con un 28% de la capacidad instalada de generación;
- *El Sistema Interconectado Central (SIC)* abastece desde Taltal, Región de Antofagasta, hasta Chiloé, Región de Los Lagos, con un 72% de la capacidad instalada en el país;
- *El Sistema de Aysén* atiende el consumo de la Región de Aysén del General Campos Ibáñez del Campo, con un 0,4% de la capacidad instalada de generación;

- *El Sistema de Magallanes* abastece la Región de Magallanes y la Antártica Chilena, con un 0,6% de la capacidad instalada en el país (Figura 2).



**Figura 2. Distribución del sistema eléctrico en Chile. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, www.ine.cl
Elaboración: Aporte potencial de Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica, 2008-2025.**

En base a la configuración de sistema eléctrico chileno, la elección del área de estudio para la presente investigación se sustenta en las siguientes razones:

- Se estima altamente probable que si se instala un generador undimotriz, este será en el SIC, donde la demanda por energía eléctrica es mayor;
- En el norte del país donde se encuentra la zona representada por el SING, la energía de las olas es menor a la del área centro-sur, por lo tanto poco atractiva para inversionistas que busquen este tipo de recurso, al menos en una etapa inicial;

- En la zona sur del país donde se encuentra el sistema de Aysén y Magallanes, existe gran disponibilidad del recurso undimotriz, pero la energía generada no podría ser transportada al SIC, donde se encuentra la demanda energética⁹; y
- El costo de implementación de un parque undimotriz sería más barato en el área de estudio seleccionada (área centro-sur donde se encuentra el SIC), porque ya existen proyectos energéticos, los cuales cuentan con infraestructura (torres de alta tensión, subestaciones eléctricas, entre otras) que podrían ser reutilizadas para transportar la energía generada por los dispositivos undimotrices. Además en esta área se cuenta con infraestructura de apoyo (camino, puertos, astilleros, entre otros).

También hay que mencionar, que para la elección del sitio en la costa centro-sur de Chile, se tiene que considerar la generación, potencia y propagación del oleaje, para instalar el dispositivo en el lugar indicado, donde se genere mayor cantidad de energía.

6.2 Elección de los dispositivos

Los dispositivos captadores de energía deben estar ubicados en lugares donde no haya algún tipo de interferencia geográfica (es decir, con costa expuesta), esto para recibir la mayor cantidad de energía posible, ya que los dispositivos undimotrices deben captar la energía cinética y/o potencial almacenada en las olas y convertirla en energía eléctrica.

⁹ El principal sector en el consumo de energía en Chile es Transporte, que registró un 36%. Le siguieron Industria y el consumo Residencial (cada uno con un 22%), y Minería (15%) (CIE. 2011).

Si bien en Chile existe una larga costa para instalar estos dispositivos captadores de la energía de las olas, es necesario hacerlo en un lugar adecuado, de acuerdo a las condiciones y/o características de cada lugar (ambientales, energéticas, climáticas, geográficas, logísticas, entre otras); es por esto que, para cada lugar, debe haber un dispositivo que cumpla con las condiciones para ser instalado, y aprovechar al máximo y en forma eficiente la energía que contenga dicho lugar, con el mínimo impacto ambiental posible.

Por otra parte estos dispositivos pueden estar instalados a diferentes profundidades, por lo tanto, a distintas distancias de la orilla, por ello que se clasifican de la siguiente manera:

6.2.1 Lugar de ubicación

6.2.1.1 Dispositivos de orilla (On-shore):

Los dispositivos de orilla, como su nombre lo señala, tienen la particularidad de estar ubicados en aguas someras. Pueden ser estructuras fijas; como muros rompeolas, se pueden instalar en la orilla, en aguas de muy poca profundidad o en precipicios. La cualidad de este tipo de dispositivos es que son de fácil instalación y acceso (para mantenimiento), también el costo de operación es bajo, ya que no se requiere contar con embarcaciones, puertos y o astilleros para su revisión y mantenimiento, además, el transporte de la energía hacia la red eléctrica presenta menos impedimentos, por su cercanía con tierra firme. Son los dispositivos menos utilizados a nivel mundial, porque los sitios para su instalación cuentan con un moderado a bajo potencial energético de las olas. Son llamados también dispositivos de primera generación (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Dispositivo de orilla “columna de agua oscilante”.

Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php./1/curso/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>



Figura 4. Planta Toftestallen, Noruega (1985), dispositivo de orilla con una potencia instalada de 600 kW.

Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php./1/curso/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>

6.2.1.2 Dispositivos costeros (Near-shore):

Estos dispositivos están instalados cercanos a la costa, a no más de 40 m de profundidad. No se instalan en profundidades mayores a 40 m porque son dispositivos que deben ir apoyados sobre el fondo marino o ser flotantes (figuras 5 y 6). También presentan un costo de operación bajo, en relación a los dispositivos que operan en aguas más profundas. Tienen menor cantidad de generación de energía que los dispositivos oceánicos (*off-shore*) y más que los de orilla (*on-shore*). Su impacto ambiental puede ser mayor, pues está más cerca de la costa (figura 7), lo que podría provocar un cambio en las condiciones normales de la dinámica costera y tener impacto visual. Son llamados también dispositivos de segunda generación.

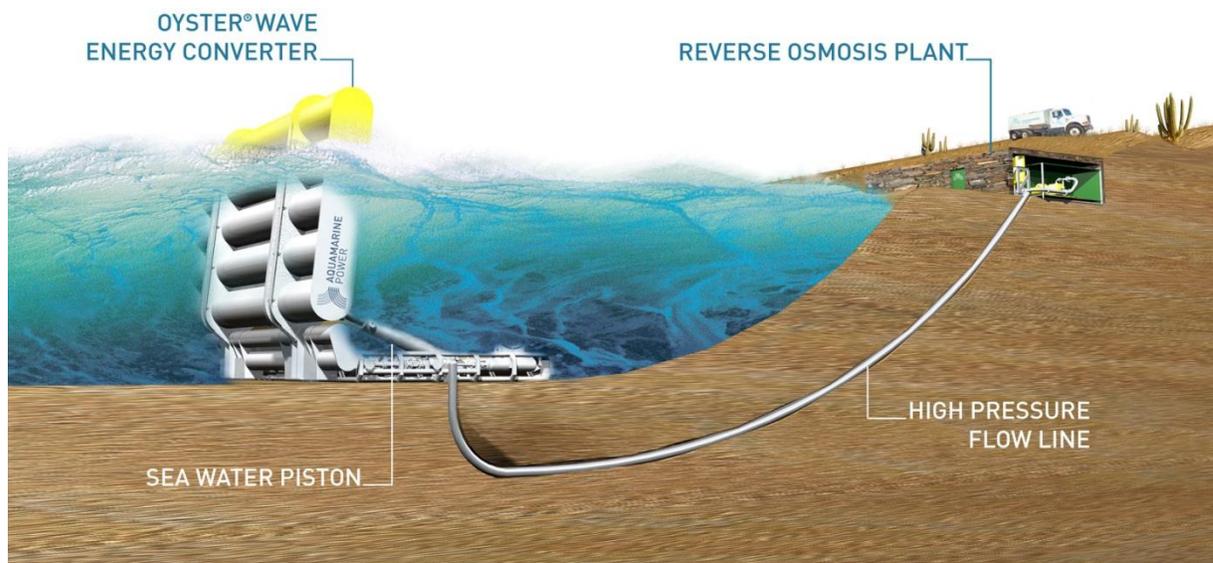


Figura 5. Diagrama de funcionamiento de un dispositivo costero Oyster, acoplado a la subestación en tierra.
Fuente: www.hackedgadgets.com



Figura 6. Dispositivo costero Oyster en tierra. Fuente: <http://www.emersonindustrial.com>



Figura 7. Dispositivo costero Oyster operando en el mar (barra amarilla horizontal), en Islas Orkney, Escocia, Reino Unido. Fuente: <http://www.aquamarinepower.com/>

6.2.1.3 Dispositivos oceánicos (Off-shore):

Son dispositivos flotantes (Figuras 8 y 12) o sumergidos, anclados pero no pegados al fondo marino (Figuras 9 y 13), se ubican en aguas más profundas (desde 40 hasta 100 m apróx.), donde hay mayor potencial energético. Son de mayor costo que los costeros, por la distancia y profundidad de instalación. Pueden presentar problemas para su mantención (se requiere embarcaciones tipo remolcador para su mantenimiento), el transporte de energía (mediante líneas de alta tensión submarinas), requieren ser calibrados respecto a la posición predominante del oleaje asociado al viento (diferencia entre verano, con predominio de viento sur e invierno, con predominio de viento norte) (Figura 10) y, además, debe estar a cercana distancia menor de 40 km de un puerto apto para naves mayores (en caso que el dispositivo deba ser retirado temporalmente para mantención). Pero a su vez, garantiza mayor producción energética por la disponibilidad de olas del océano (Figuras 11 y 14). Son llamados también dispositivos de tercera generación.



Figura 8. Dispositivo oceánico Pelamis observado desde la superficie. Al fondo se observa una ciudad. Fuente: <http://www.earthtechling.com>

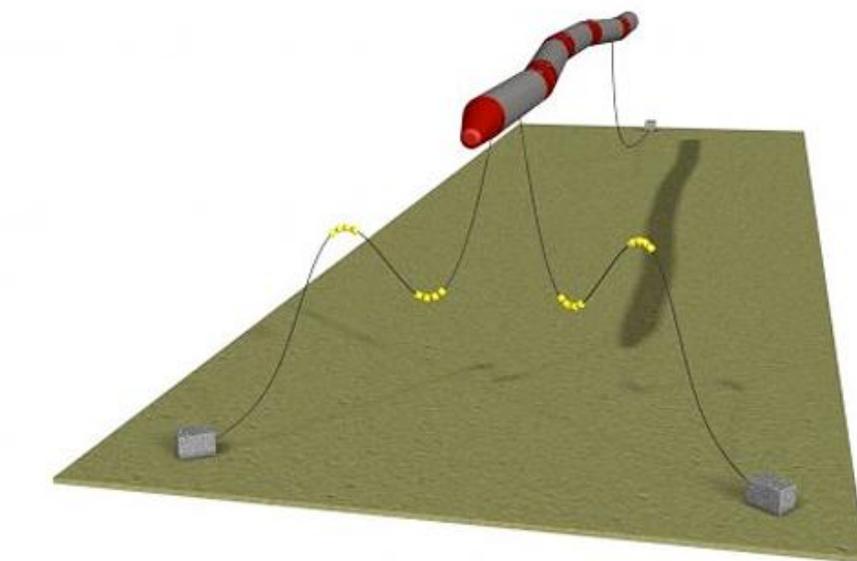


Figura 9. Diagrama de un dispositivo oceánico Pelamis y su sistema de anclaje al fondo marino. Fuente: <http://eco.microsiervos.com>

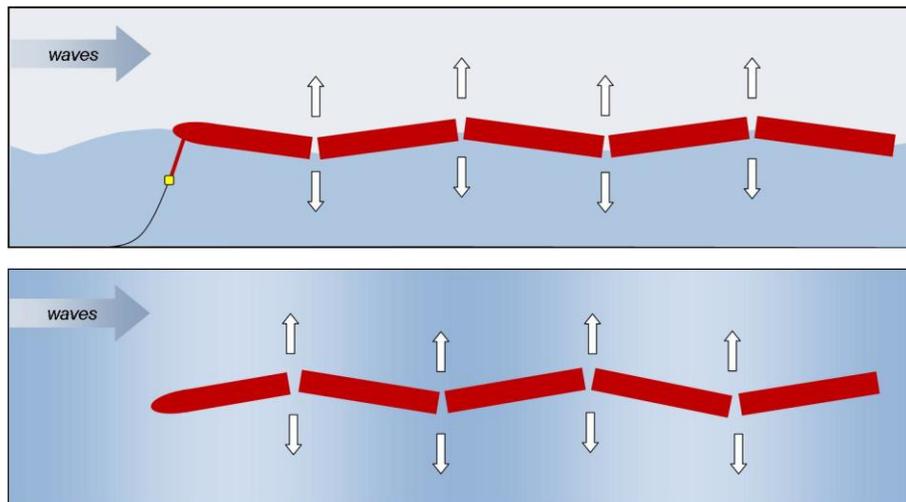


Figura 10. Diagrama de funcionamiento de un dispositivo oceánico Pelamis. Imagen superior muestra funcionamiento en superficie, Imagen inferior muestra funcionamiento semi sumergido. Fuente: <http://www.pelamiswave.com>

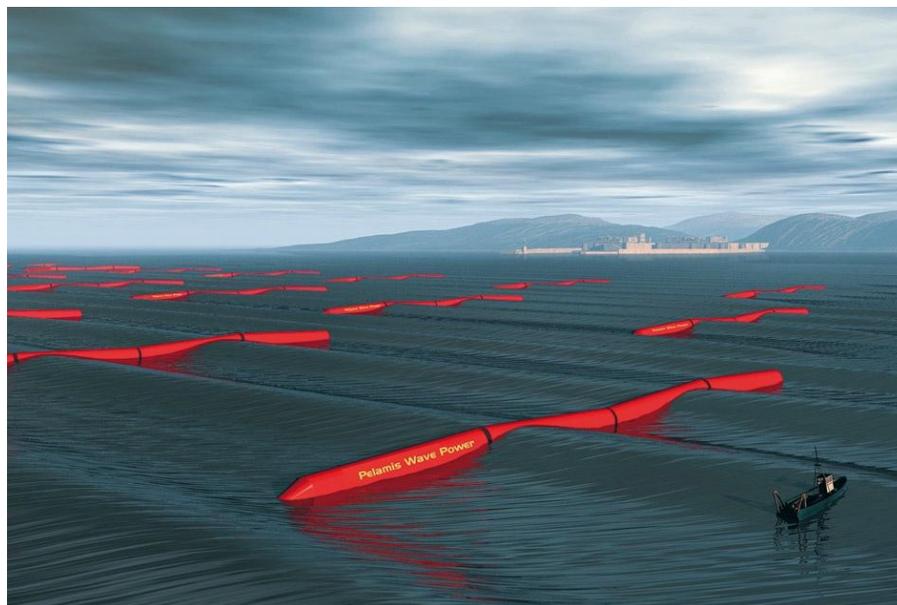


Figura 11. Representación de un hipotético "parque" o "granja" undimotriz de dispositivos Pelamis observado desde la superficie. Fuente: <http://worldoceanreview.com>



Figura 12. Dispositivos oceánicos Wave Bob, vista desde la superficie. Fuente: <http://sine.ni.com/>

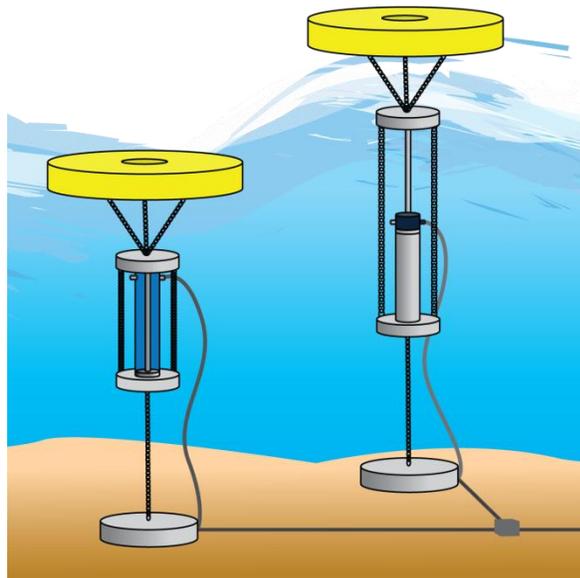


Figura 13. Diagrama de un dispositivo oceánico Wavebob y su sistema de anclaje al fondo marino. Fuente: <http://www.sigmahellas.gr>



Figura 14. Dispositivos costeros Wavebob operando en el mar (puntos amarillos), en la costa de Irlanda, Reino Unido. Fuente: <http://www.waveplam.eu>

Cada ubicación por generación se describe en la siguiente imagen:

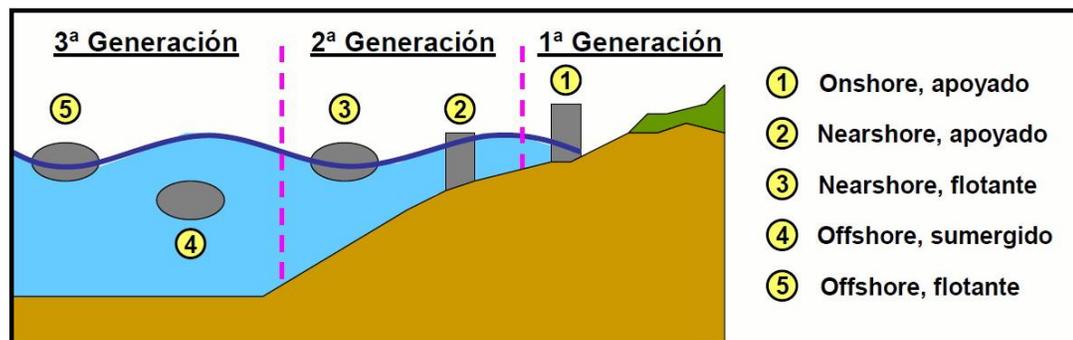


Figura 15. Ubicación de los dispositivos generadores de energía. Fuente: Aprovechamiento de las energías del mar 2011

De acuerdo a la clasificación anterior (Figura 15), se escogieron los dispositivos con mayor importancia a nivel mundial, los cuales han sido instalados y estudiados, presentando resultados

favorables (menor impacto al medio ambiente marino) y buena generación eléctrica, estos son: Oyster (dispositivo costero), Pelamis (dispositivo oceánico) y Wave Bob (dispositivo oceánico).

6.2.2 Descripción de los dispositivos seleccionados:

6.2.2.1 *Pelamis:*

Es una estructura semi-sumergida articulada, de 180 m de largo, 4 m de diámetro y aproximadamente 1.350 toneladas de peso (Figura 8). Consta de cinco tubos cilíndricos unidos por cuatro juntas articuladas lo que permite su flexión en dos direcciones (mayor movilidad, lo que aumenta la absorción de energía) (Figura 16), esto le permite mayor eficiencia, mayor control y por lo tanto mayor fiabilidad. Su orientación es paralela a la dirección de la ola y como las ondas pasan a lo largo de Pelamis se provoca la generación de energía al interior de estas articulaciones que poseen pistones hidráulicos con aceite a alta presión, para luego es transmitida por un cable submarino hasta una subestación en tierra (Figura 17).

Esta máquina funciona en profundidades de agua de más de 50 m y se instala normalmente de 2 a 10 km del litoral. Este dispositivo tiene una potencia nominal es de 750 kW y anual de 2.7 GWh, con una eficiencia de conversión de 70%.

Este sistema de conversión de energía, tiene un grado de adaptabilidad que permite que la estructura gire o rote en función de la dirección del oleaje y el viento, esto porque Pelamis es más

eficiente cuando se encuentra perpendicular al barrido de la ola. Si no está en esta posición su rendimiento de extracción es menor.

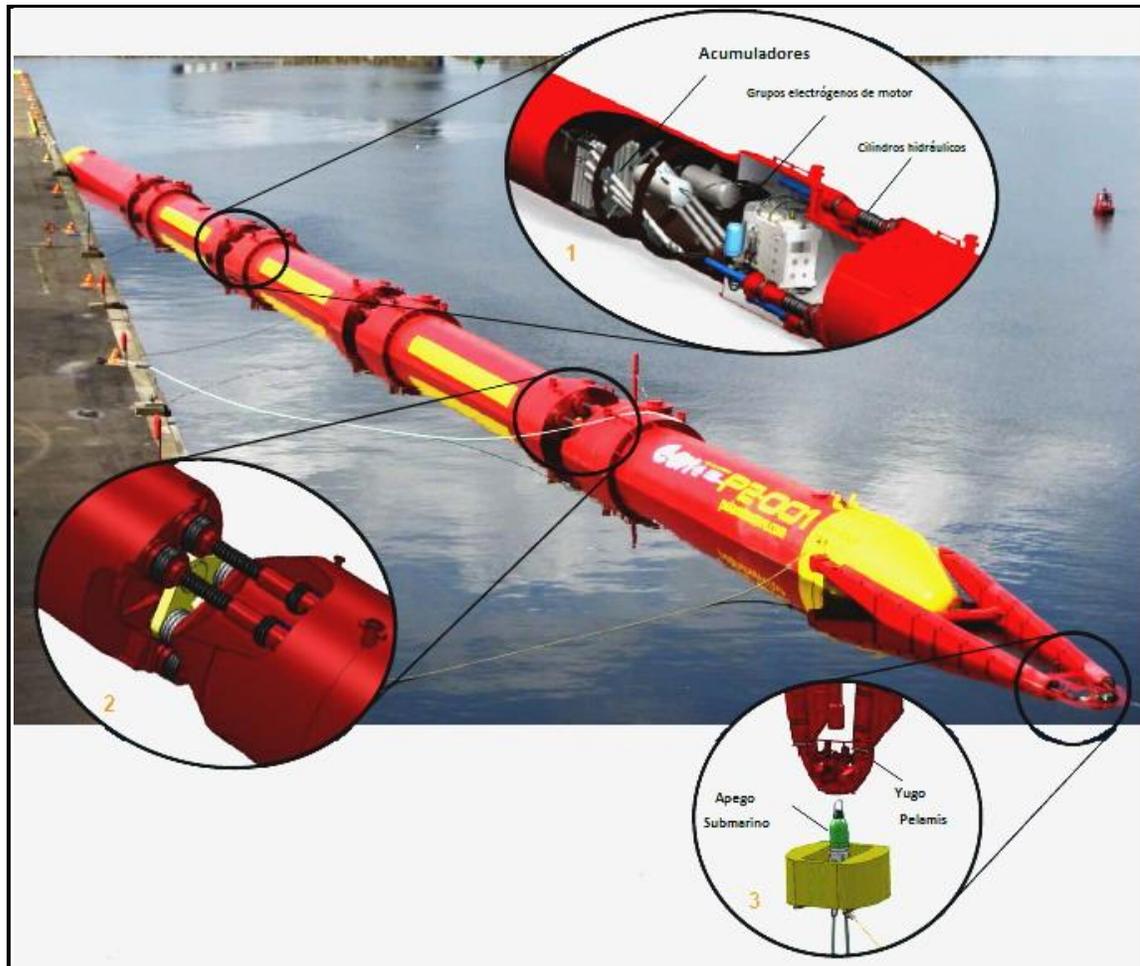


Figura 16. Diseño de Pelamis. Fuente: <http://www.pelamiswave.com/>



Figura 17. Pelamis en Islas Orkney. Fuente: <http://www.pelamiswave.com>

Pelamis consta de cuatro modos de operación, que dependen de las condiciones del clima, el tipo de oleaje y la dirección:

- Modo *Calm*: cuando el océano no presenta oscilaciones;
- Modo *Ligth Swell*: cuando el océano presenta un oleaje leve;
- Modo *Heavy Swell*: cuando el océano presenta un oleaje intenso; y
- Modo *Survival*: cuando se presentan tormentas, por lo cual las olas sobrepasan la capacidad de diseño del equipo. (Figura 18).

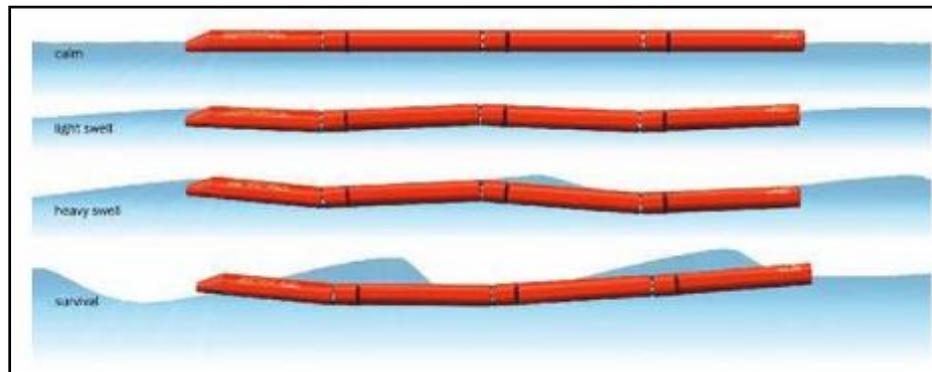


Figura 18. Modos de operación de Pelamis

6.2.2.1.1 Ventajas:

Posee un sistema de protección contra fuga de líquido hidráulico. Los niveles de energía que se generan mar adentro son mucho mayores que los costeros. Se pueden calcular las previsiones energéticas y lo que este dispositivo podría generar al mes y al año.

Como se instala a más de 2 km de distancia de la costa, este dispositivo no causa un impacto visual ni ruido que pueda afectar o molestar a las personas.

Se adapta fácilmente y logra un grado alto de supervivencia frente a fuerte oleaje y mal tiempo.

6.2.2.1.2 Desventajas

Al estar más alejados de la costa, se tiene que contratar barcos para su reparación, o acercamiento a la costa, lo que implica mayor costo de operación.

Estos dispositivos pueden interrumpir, rutas migratorias de organismos marinos, rutas de navegación u ocupar caladeros de pesca, lo que puede ser perjudicial.

Habría que calibrar el dispositivo de acuerdo a los vientos (sur en verano, norte en invierno)

6.2.2.2 *Wave Bob:*

Este convertidor consiste en dos masas de distinta densidad (Figura 19), que a través de un elemento conector se mueven en forma desfasada, lo cual genera presión a través de un pistón hidráulico o generación eléctrica directa a través de un generador lineal, que absorbe los movimientos verticales.

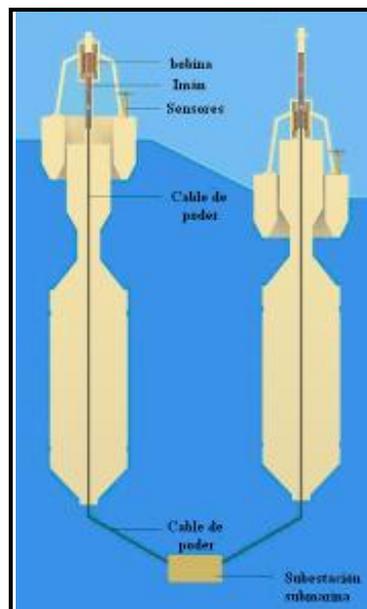


Figura 19. Dispositivo Wave Bob. Fuente <http://www.wavebob.com/wp-content/uploads/2011/02/DSC002431-645x483.jpg>

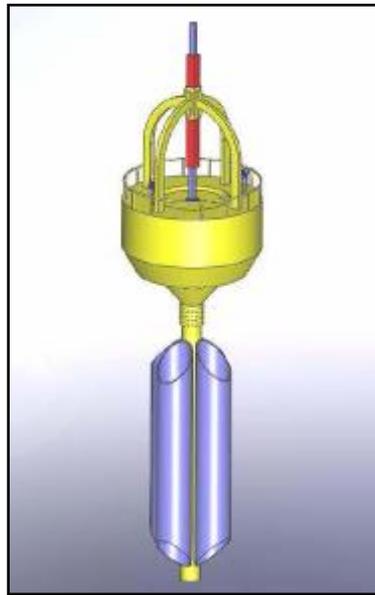


Figura 20. Dispositivo Wave Bob. Fuente: <http://www.wavebob.com/wp-content/uploads/2011/02/DSC002431-645x483.jpg>

Este dispositivo funciona por diferencias de densidades entre el dispositivo de superficie (de 8 m de altura) y el dispositivo sumergido (de 8 m igualmente). Posee un diámetro de 2 m y su estructura vertical tiene un largo de 75 m (Figura 20), por lo cual se tiene que instalar en profundidades mayores a 50 m, su peso es de 3.800 toneladas y puede alcanzar una generación de 1500 kW de potencia, dependiendo el lugar de instalación (flujo de olas).

Este dispositivo no necesita orientación con respecto a la dirección de la ola o el viento, lo que le permite operar de la misma manera con el viento hacia un lado u otro (*e.g.* norte o sur). Esto es posible debido a su estructura en forma simétrica, dado que las cargas se distribuyen homogéneamente en ambos lados del equipo (Figura 21).



Figura 21. Dispositivo Wave Bob. Fuente: <http://static.offshorewind.biz/wp-content/uploads/2013/04/Ireland-Wavebob-to-Go-into-Liquidation.jpg>

6.2.2.2.1 Ventajas

Resistencia a condiciones meteorológicas adversas, posee ajuste automático a los cambios de las condiciones del oleaje.

Como fue diseñado para ser instalado en aguas profundas, no presenta impacto visual o acústico para las personas.

6.2.2.2.2 Desventajas

Para su mantención el dispositivo debe ser llevado a la costa, lo que implica un alto costo.

6.2.2.3 *Oyster*:

Los dispositivos captadores de energía deben estar ubicados en lugares donde no haya interferencia previa con el oleaje, para recibir la mayor cantidad de energía posible. Deben captar la energía cinética y/o potencial almacenada en las olas y convertirla en energía eléctrica.

En los lugares donde ya se han instalado estos dispositivos (*e.g* Islas Orkney (Reino Unido), Islas Hawaii (Estados Unidos de Norteamérica), España, entre otros), se ha observado la ausencia de impactos significativos en el ambiente marino (Energía Marina en Chile, 2012).

Este dispositivo trabaja anclado al fondo marino y su movimiento oscilatorio, hace que una paleta suba y baje, moviendo pistones que envían agua a presión mediante una cañería hasta una subestación que se encuentra en tierra, donde el agua a presión hace mover una turbina hidráulica Pelton¹⁰ convencional, la cual genera la energía. El dispositivo *Oyster* se ubica a profundidades entre 10 y 12 m, posee una altura completa de 14 m, su ancho es de 6 m (Figura 22), el largo horizontal de la estructura es de 26 m y la altura sobre el nivel del mar de 2 m. Su potencia nominal puede alcanzar los 800 kW (Figura 23).

¹⁰ Pelton: Tipo más eficiente de turbina hidráulica. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia.



Figura 22. Dispositivo Oyster. Disponible en: www.aquamarinepower.com



Figura 23. Dispositivo Oyster en el mar. Disponible en: www.aquamarinepower.com

6.2.2.3.1 Ventajas

Este dispositivo no utiliza cable submarino para la transmisión de la energía, por lo que no causaría impactos asociados a electromagnetismo, ruido o calor.

Por el hecho de situarse en la costa, se encuentra a una menor distancia para las embarcaciones que deban efectuar eventuales reparaciones. Esto generaría un menor costo de mantenimiento.

6.2.2.3.2 Desventajas

Como desventaja necesitan un determinado fondo marino para poder ser instalados, y por su gran tamaño, puede resultar peligroso para el tránsito de mamíferos marinos, peces, entre otros.

Pueden, por otro lado, modificar el hábitat de la comunidad bentónica e interrumpir rutas de navegación, actividades pesqueras y recreativas (e.g. *surf*).

6.3 Organismos marinos

6.3.1 Necton

Se denomina necton a todos los organismos acuáticos que poseen mecanismos de natación que les permite nada libremente en la columna de agua en forma vertical y horizontal, independiente de las corrientes. Sus representantes son: crustáceos, moluscos, peces, reptiles y mamíferos.

Se pueden diferenciar del plancton porque logra vencer la fuerza de las grandes corrientes. Son organismos de tamaños variables, desde muy pocos centímetros, hasta metros. Viven en la parte pelágica y costera, de manera solitaria o en grupos.

Algunos de estos organismos pueden realizar grandes migraciones, como ballenas, tortugas y peces.

La mayoría de estos organismos realizan migraciones verticales durante la noche para alimentarse (procesos nictemerales o circadianos), permaneciendo parte del día en aguas profundas (Figura 24).

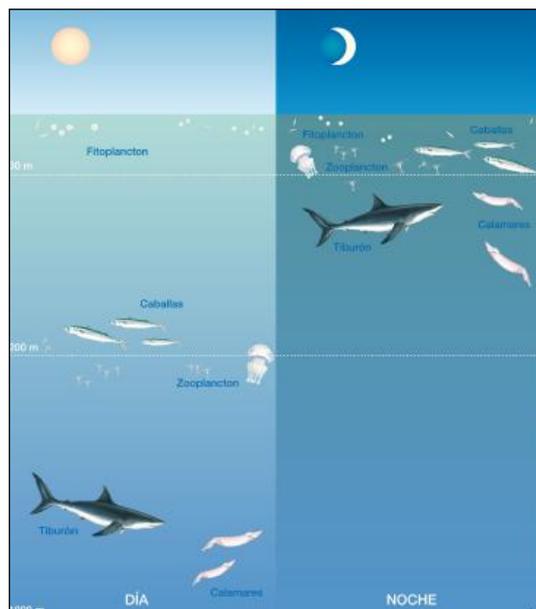


Figura 24. Ejemplo de desplazamientos.

6.3.2 Plancton

Plancton es el conjunto de organismos que viven suspendidos en la columna de agua, que pueden carecer de órganos de natación o ser muy débiles. Se trasladan gracias a los movimientos de las masas de aguas y generalmente son organismos pequeños (microscópicos). A estos organismos se les conoce como productores, consumidores y descomponedores.

El plancton está compuesto por dos grupos: el fitoplancton que es plancton autótrofo, y el zooplancton que es el plancton heterótrofo. Existe un tercer grupo que son los mixótrofos, los cuales realizan fotosíntesis e ingestión de materia orgánica preformada.

El fitoplancton es el primer eslabón de la cadena alimenticia; constituyen los organismos productores. Entre los grupos más importantes pertenecientes al fitoplancton están las diatomeas, los dinoflagelados, las clorofíceas, las cianofíceas y las euglenofíceas. Desde el punto de vista de producción y debido a que se distribuyen por toda la capa fótica, las diatomeas y dinoflagelados son los productores más importantes ya que producen la mayor cantidad de materia orgánica y son realmente los pilares fundamentales del ecosistema.

El zooplancton está representado por protozoarios, celenterados, rotíferos, briozoarios y crustáceos, como cladóceros, copépodos y ostrácodos, los cuales forman parte del plancton toda su vida (holoplancton). También se puede denominar zooplancton a aquellos organismos heterótrofos que forman parte del plancton de manera temporal (meroplancton), dado que en su

vida adulta forman parte del bentos o necton. Entre estos se encuentran larvas de muchos invertebrados, los huevos y larvas de algunos peces.

6.3.3 Bentos

Es una comunidad compleja de organismos que viven sobre o en el fondo marino, compuesta por una gran diversidad de especies pertenecientes a diversos phyla y grandes grupos, entre los cuales se encuentran: Porífera, Annelida, Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata y Mollusca entre otros. Estos organismos pueden tener baja movilidad o nula.

El bentos cumple un rol fundamental al interior de la cadena trófica del ecosistema marino. Su papel funcional reside en la transferencia de energía entre los productores primarios y los consumidores terciarios (Wilber & Clarke, 1998).

El sistema bentónico abarca la plataforma costera, la continental (o insular), el talud continental (o insular), la zona abisal y las grandes fosas oceánicas, esto nos indica que el bentos puede vivir en cualquier lugar del fondo marino.

Los organismos bentónicos se pueden diferenciar o pueden ser clasificados dependiendo de su ubicación, algunos viven en fondos duro (rocas) y otro en fondos blando (arena, fango, etc.), estos también pueden estar enterrados (infauna) o permanecer en la superficie (epibiota o epifauna).

Las especies más vulnerables a cambios en el sistema, son las que poca o nula movilidad. Estos también se ven afectados por cambio de algunos factores abióticos (profundidad de agua, temperatura, turbidez, salinidad, etc.), los cuales pueden provocar fluctuaciones en estos parámetros, afectando a la composición de especies y número de individuos.

6.3.4 Aves

Las aves marinas se pueden clasificar en tres grupos según su localización: las costeras, las de la plataforma continental y las oceánicas. Presentando conductas alimenticias dependiendo de su ubicación.

Las características que definen a un ave como “marina” son las siguientes:

- Obtienen su alimento del mar o de las costas marinas;
- Participan de los ciclos de energía del ecosistema marino;
- Sus fecas son depositadas en el mar o en el lugar de su nidificación;
- Como adaptación (algunas aves como los pingüinos) poseen un denso plumaje, que les ayuda a mantener el calor corporal tanto adentro como afuera del agua y;
- Su postura es más erguida que otras aves.

En Chile hay 150 especies (Figura 25) que pueden considerarse como aves marinas según Vilina & Pizarro, (2008). Algunas de estas son: gaviotas, pelicanos, pingüinos, albatros, cormoranes, fragatas, entre otros.

	Región												Total País
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Migratoria	38 48%	34 46%	37 49%	37 52%	45 41%	34 54%	32 54%	34 50%	30 49%	38 47%	27 45%	29 35%	54 37%
Dispersiva	29 37%	30 40%	25 33%	23 32%	43 42%	18 29%	17 28%	21 31%	18 30%	24 30%	21 35%	37 45%	65 44%
Sedentaria	11 14%	10 13%	13 17%	11 15%	15 14%	11 17%	11 18%	13 19%	13 21%	18 23%	12 20%	16 20%	26 17%
Sin Información	1 1%	1 1%	1 1%	1 1%	3 3%	0	0	0	0	0	0	0	3 2%

Figura 25. Estatus de las aves marinas por región y a nivel nacional, el cuadro rojo muestra la zona del sistema interconectado central (SIC). Fuente: Biodiversidad en Chile, Especies marinas

Para establecer patrones de movimientos a macro escala de las aves marinas consideradas, se reconocieron tres categorías:

- Sedentaria: aquella especie que puede ser registrada en forma permanente en un área;
- Migratoria: aquella especie que presenta desplazamientos de carácter cíclico, generalmente circanual, de grandes distancias, asociados a fluctuaciones estacionales del ambiente; y
- Dispersiva: aquella especie que no presenta un patrón regular en sus desplazamientos, ya sea en el carácter temporal o espacial, ya que sus desplazamientos son de naturaleza oportunista, generalmente asociados a la oferta de alimento (Vilina & Pizarro, 2008).

6.4 Impacto: Electromagnetismo

Los dispositivos undimotrices cuentan con un cable submarino (línea de alta tensión submarina) que transporta la energía generada en el mar, hasta una subestación en tierra. El cable generará electromagnetismo alrededor suyo. Se describirá el impacto de Pelamis y Wave Bob. Se excluirá

a Oyster porque no cuenta con un cable transportador de energía (Oyster transmite agua mediante una cañería a una turbina en tierra), por lo que no generará este impacto.

Por otra parte este impacto (electromagnetismo) no causará efecto en las aves, ya que el cable de transmisión es submarino. Si bien los pingüinos son aves, estos se tratan funcionalmente como necton en la presente tesis, por lo que el impacto sobre ellos si se evalúa (numeral 6.4.1.2.a).

Los campos magnéticos ocurren naturalmente en nuestro medioambiente; por ejemplo, el campo geomagnético en la superficie de la Tierra varía aproximadamente entre 35 micro Tesla (μT) en la zona del Ecuador y 70 μT en los polos magnéticos. Esta diferencia en el campo geomagnético implica que a través de la superficie terrestre existen gradientes (variación de la intensidad en una determinada distancia) que dependen de cada zona.

Los campos magnéticos estáticos artificiales generados donde quiera que se utilicen corrientes continuas, tales como en algunos sistemas de transporte energizados por electricidad, procesos industriales y en equipos médicos de imágenes por resonancia magnética, en los cuales los pacientes y técnicos, en los equipos actuales, pueden estar expuestos a campos magnéticos cuya intensidad varía entre 0,2 y 3,0 Tesla (T) (alrededor de unas 43.000 veces al campo máximo de la tierra). En cuanto a las líneas de transmisión eléctrica HVDC (high voltage continuous current o alto voltaje corriente continua), éstas producen campos magnéticos de hasta decenas de micro teslas (Environmental Health Criteria 232, OMS, 2006).

6.4.1 Descripción del impacto:

6.4.1.1 *Etapa de instalación:*

6.4.1.1.a) Impacto: no habrá impactos en esta etapa del proyecto, el electromagnetismo solo se manifiesta cuando el dispositivo comience a generar electricidad en la etapa de operación.

6.4.1.2 *Etapa de operación:*

6.4.1.2.a) Impacto: Alteración del necton producto del electromagnetismo por los cables de transmisión eléctrica.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del cable submarino transportador de energía, desde el dispositivo a una subestación en tierra.

Pelamis y Wave Bob como dispositivos generadores de energía de las olas, cuentan con un cable que transporta la energía, esto provocará electromagnetismo alrededor del cable de transmisión que va desde el dispositivo captador de energía de las olas hasta la subestación en tierra. Por lo tanto, al generar el electromagnetismo afectaría al necton transite por la zona del cable de transmisión.

- **Elemento ambiental afectado: Necton**

La transmisión de corriente se produce por el movimiento de cargas eléctricas (electrones) en el (los) cable(s) conductor(es). Este movimiento de cargas, a su vez, genera un campo magnético tanto dentro como alrededor del cable.

Los campos magnéticos generados pueden ser de dos tipos: (a) estático, producido por la circulación de corriente continua que, como no varía en el tiempo (tiene frecuencia igual a cero), el campo tampoco varía en intensidad, y (b) cuasi-estático: que es producido por la corriente alterna, la cual, varía en el tiempo (es decir, tiene frecuencias mayor que cero) y produce un cambio en la intensidad del campo a través del tiempo. Como por el tramo submarino solo circulará corriente continua, los campos magnéticos generados serán de tipo estático. (Morales, 2011).

En Chile no existe normativa legal respecto de la intensidad de campo magnético permitido, por ello, se considera la recomendación de organismos internacionales. La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su Nota Descriptiva N° 299 de 2006, y la ICNIRP (Comisión Internacional para Protección contra Radiación No Ionizante, por sus siglas en inglés), en su Guía de Límites de Exposición a Campos Magnéticos Estáticos de 2009, entre otras, contemplan como límite de exposición permanente una intensidad de campo magnético estático de 500 μT , para el resguardo de portadores de marcapasos, implantes ferro magnéticos y dispositivos electrónicos implantados.

La mayoría de las especies marinas utilizan campo geomagnético para su orientación y posiblemente su navegación. Los estudios realizados hasta el momento no han sido capaces de demostrar (o desestimar) el hecho de que los campos magnéticos antropogénicos ejerzan algún efecto sobre las especies marinas (Fisher *et al.*, 2010). Lo que se ha podido demostrar es que las distintas especies son capaces de reconocer la presencia de un campo magnético (o eléctrico).

En cuanto a umbrales de sensibilidad, se han realizado estudios para algunas especies, a partir de los cuales se han postulado algunos valores, que también serían aplicables a otras especies con similares características y comportamiento. Algunos valores planteados son los siguientes:

- En relación a algunos representantes del suborden Mysticeti, algunos autores sugieren que éstas siguen los “valles magnéticos” (zonas de mínima intensidad), de acuerdo a estudios que relacionan esta condición con eventos de varamiento en el hemisferio norte (principalmente en EE.UU. y el Reino Unido), pero otros estudios han probado que los resultados no son concluyentes (Normandeau *et al.*, 2011). Existe, eso sí, suficiente evidencia circunstancial para concluir que las perturbaciones en el campo geomagnético podrían afectar la orientación de los cetáceos. Esta evidencia indica que serían capaces de identificar variaciones en el campo geomagnético, como mínimo, en un rango entre 0,03 y 0,06 μT (Merck *et al.*, 2009). Por el contrario, otros estudios sugieren que los mecanismos de orientación de las ballenas serían similares a los de las anguilas, salmones y truchas, especies que no debieran sufrir efectos a causa de los cables submarinos (Fisher *et al.*, 2010).

- Del suborden Odontoceti (y supuestamente otras especies similares, como las marsopas) tienen hábitos de alimentación bentónicos. En algunos sitios se ha señalado una relación entre varamientos y mínimas geomagnéticas, aparentemente respondiendo a variaciones menores a 0,05 μT . Aparentemente estos animales tienen el mayor potencial de ser afectados, pero se considera que un delfín podría variar su curso en respuesta a una alteración del campo magnético, pero una vez fuera del alcance de éste, debiera corregir su rumbo (Normandeau *et al.*, 2011).

- Para los peces, los condriictios marinos serían las especies con mayor receptividad a campos eléctricos inducidos a partir de un campo magnético, con umbrales de percepción en rangos de $0,005 \mu\text{V}/\text{cm}$ a $0,2 \mu\text{V}/\text{cm}$ (OSPAR commission, 2008). En particular los elasmobranquios son capaces de detectar campos de intensidad bastante menor al geomagnético y reaccionar ante intensidades entre 25 y $100 \mu\text{T}$ (Merck *et al.*, 2009), y también los elasmobranquios están cada vez más expuestos a encontrar las fuentes de campos eléctricos antropogénicos como los relacionados con los cables submarinos en determinados desarrollos de energía renovable marina (Gill & Kimber, 2005; Sutherland *et al.*, 2008). Anguilas (orden Anguilliformes), salmones y truchas (familia Salmonidae) parecieran detectar la presencia de un campo magnético, pero no se detectaron variaciones en su comportamiento en presencia de éste (Fisher *et al.* 2010).

Aunque no existe comprobación de cómo los campos magnéticos afectarían a las distintas especies, los resultados cualitativos sugieren que los elasmobranquios (por su alta sensibilidad a los campos eléctricos inducidos) y los cetáceos (por su alta sensibilidad a los campos magnéticos) tienen las mayores posibilidades de sufrir efectos a causa de los campos magnéticos, pero se cree que los niveles de exposición pudieran ser menores debido alta movilidad.

La siguiente evaluación del impacto del electromagnetismo sobre el necton, se realizará por grupo taxonómico (mamíferos marinos, pingüinos, peces osteíctios y peces condriictios) considerando que son los que podrían verse más afectados con la instalación de dispositivos undimotrices, y además, porque no todos los taxa tienen la misma ubicación en la columna de agua, ni patrones de desplazamiento similares.

6.4.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Los campos magnéticos generados por los cables podrían alterar las condiciones normales del ambiente donde se distribuye el necton;
- Relevancia del impacto es diferente para cada grupo:
 - Mamíferos marinos: la relevancia de impacto es alta (10). Todos los mamíferos marinos se encuentran en estado de protección, independiente del lugar donde se encuentren (Iriarte, 1999)¹¹.
 - Pingüinos: la relevancia del impacto es alta (10). Si en el área afectada se encuentran la mayoría de los pingüinos en estado de vulnerabilidad (DS 50/2008 MINSEGPRES), la relevancia es 10, pero si la zona o área es otra en la cual no se encuentren especies en estado de vulnerabilidad la relevancia podría ser menor.
 - Peces osteíctios: la relevancia del impacto es media (5). Según Krylov *et al.*, 2014, hay peces teleósteos capaces de percibir campos electromagnéticos pudiendo afectar su comportamiento; y
 - Condrictios: la relevancia del impacto es media (5). De acuerdo a la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (IUCN), solo tres

¹¹ Los cetáceos fueron declarados Monumento Natural mediante DS 230/2008 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Esto incluye a los ejemplares que habitan dentro de los límites de jurisdicción nacional o que franqueen dichos límites.

especies de Condriactios (tollo de cachos, raya volantín y raya espinosa) se encuentran como amenazadas en categoría de vulnerable.

- La intensidad del impacto es media (5). En algunos casos (peces) puede verse modificada la ontogénesis en la etapa embrionaria (Krylov *et al.*, 2014);
- La extensión del impacto es diferente para cada grupo:
 - Mamíferos marinos: la extensión de impacto es (2). El cable transportador de energía que provocará el electromagnetismo solo influenciará el área cercana a este, menor al 20% de la totalidad del área abarcada, por esto los mamíferos que se verán afectados sería los que pasen cerca del cable.
 - Pingüinos: la extensión de impacto es (1). Esto solo podría afectar a los pingüinos que transiten por este lugar donde se encuentra el cable (el cual de acuerdo a su ubicación, sería menor al 10%), pero en baja intensidad, no provocaría cambios significativos en esta especie.
 - Peces osteíctios: la extensión de impacto es (5). En los dispositivos Pelamis y Wave Bob, el cable baja hasta el fondo marino, por lo cual es posible que haya mayor contacto de los peces (por ser demersales), pero no provocaría cambios significativos en esta especie ya que solo se representaría a un 50% o menos de las especies que transiten por este sector; y

- Condrictios: la extensión de impacto es (8). Como son peces demersales en su mayoría, tienen mayor probabilidad de tener contacto con el cable eléctrico, lo que podría afectar a un 70% de los peces que habiten allí.
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El campo magnético o electromagnetismo se producirá inmediatamente comience a funcionar el dispositivo;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). El efecto se producirá durante toda la vida útil del dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la fase de operación, el dispositivo no generará energía por lo tanto el cable no producirá electromagnetismo.

Tabla 3. La significancia del impacto electromagnetismo sobre el necton durante la fase de operación, sería la siguiente:

	Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
Mamíferos marinos	-1	10	5	2	10	10	1	-5.85	Negativo medianamente significativo
Pingüinos	-1	10	5	1	10	10	1	-5.65	Negativo medianamente significativo
Peces osteóctios	-1	5	5	5	10	10	1	-4.95	Negativo medianamente significativo
Condrictios	-1	5	5	8	10	10	1	-5.55	Negativo medianamente significativo

6.4.1.2.b) Impacto: Alteración del plancton producto del electromagnetismo por los cables de transmisión eléctrica.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del cable submarino transportador de energía, desde el dispositivo a una subestación en tierra.

Pelamis y Wave Bob como dispositivos generadores de energía de las olas, cuentan con un cable que transporta la energía, esto provocaría un aumento de electromagnetismo alrededor del cable de transmisión que va desde el dispositivo captador de energía de las olas hasta la subestación en tierra. Por lo tanto, al aumentar el electromagnetismo afectaría al plancton que habite o transite por la zona del cable de transmisión.

- **Elemento ambiental afectado: Plancton**

Los organismos que forman el plancton se distribuyen o viven suspendidos en la columna de agua. Podemos diferenciar dos grupos: fitoplancton (organismos autótrofos de pequeño tamaño) y zooplancton (organismos heterótrofos de pequeño tamaño), siendo la base de la cadena trófica del medio ambiente marino.

En zonas costeras del centro y sur de Chile, el plancton se estratifica, concentrándose por sobre la termoclina, la cual desaparece sólo durante eventos de surgencia. A su vez, los cables de transmisión eléctrica que irán desde el dispositivo generador hasta la subestación en tierra, lo harán pegados al fondo marino, o soterrados. Según Giladi *et al.*, 2008 se considera que el campo electromagnético podría afectar el crecimiento de bacterias planctónicas, lo que debe considerarse en el tramo del cable que baja desde el dispositivo hasta el fondo marino.

6.4.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Los campos magnéticos generados por los cables podrían alterar las condiciones normales del ambiente donde se distribuye el plancton;
- Relevancia del impacto es bajo (1). Por la distribución del plancton, la instalación de dispositivos unidimotrices no tendrían mayor efecto sobre este grupo;
- La intensidad del impacto es media (5). Si bien no afectara a todo el plancton de la columna de agua, el que se encuentre cerca del cable puede sufrir cambios notorios (*e.g* inhibición en etapas de desarrollo del crecimiento en bacterias);
- La extensión del impacto es (4). El campo electromagnético solo afectara a la zona donde se encuentra el dispositivo, (esto podría representar a un 30 o 40% de la totalidad de estos organismos) si consideramos toda la población de plancton en esa sitio y los posibles efectos que pueda causar el electromagnetismo del cable sobre este, podría verse afectado menos de la mitad del plancton que allí habitase;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El campo magnético se producirá inmediatamente comience a funcionar el dispositivo;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Ya que el efecto se producirá durante toda la vida útil del dispositivo (más de 10 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la fase de operación, el dispositivo no generará energía por lo tanto el cable no producirá electromagnetismo.

Tabla 4. La significancia del impacto electromagnetismo sobre el plancton durante la fase de operación, sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	5	4	10	10	1	-3.55	Negativo poco significativo

6.4.1.2.c) Impacto: Alteración del bentos producto del electromagnetismo por los cables de transmisión eléctrica.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del cable submarino transportador de energía, desde el dispositivo a una subestación en tierra.

Pelamis y Wave Bob como dispositivos generadores de energía de las olas, cuentan con un cable que transporta la energía, esto provocaría un aumento de electromagnetismo alrededor del cable de transmisión que va desde el dispositivo captador de energía de las olas hasta la subestación en tierra. Por lo tanto, al aumentar el electromagnetismo afectaría al bentos que habite o transite por la zona del cable de transmisión.

- Elemento ambiental afectado: Bentos

El cable que transporta la energía está instalado en el fondo marino, lo que puede afectar a todas las comunidades de organismos marinos que allí habiten. Estudios en ciertos tipos de crustáceos decápodos de la familia Palinuridae (“Langostas”) se ha determinado que éstas utilizan el campo geomagnético para orientación y hábitos de alojamiento, característica que podría ser común a

otros crustáceos decápodos. La cercanía de un cable submarino potencialmente podría alterar sus hábitos de alojamiento y migración (Normandeau *et al.*, 2011). Sin embargo, otros estudios de laboratorio en macro-invertebrados bentónicos comunes en el mar Báltico, no encontraron un efecto apreciable en ellos por la presencia de un campo magnético (Merck *et al.*, 2009). (Figura 26).



Figura 26. Cable submarino de transmisión de corriente. Fuente: Merck, T. & R. Wasserthal. 2009

Las poblaciones de crustáceos y otras especies bentónicas que están siempre en contacto con el fondo marino podrían verse medianamente afectadas debido a su alta exposición y su baja movilidad. (Estudio de impacto ambiental, sistema de transmisión Aysén).

En erizos (Echinoidea) se ha detectado que cierta cantidad de campos magnético de 10 μ T a 0,1 T pueden afectar a los ciclos mitóticos de los primeros estados en los embriones (Levin & Ernst, 1997). Otros phylum como Cnidaria, Plathyelminthes, Nertina, Anhelida, Mollusca, Arthropoda, Bryozoa, Chordata y algas verdes, pardas, rojas entre otras, también podrían ser afectados al ser

especies electro-sensibles podrían ser atraídos o repelidos por los campos eléctricos generados por el cable submarino (Gill, 2005). Algunos estudios en mejillones demuestran que estando bajo condiciones de campo estático por tres meses en etapa de reproducción, no han presentado cambios ni diferencias significativas con el control, esto determinaría que los campos electromagnéticos estáticos no influyen en la orientación, movimiento o fisiología de los organismos bentónicos analizados (Koeller *et al.*, 2006)

6.4.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Aunque sea mínimo, se causa cierto impacto en las comunidades bentónicas del lugar;
- Relevancia del impacto es bajo (1). Bajo el punto de vista de que es un impacto mínimo, no tendría mayor relevancia en el sistema;
- La intensidad del impacto es baja (1). Si bien puede causar impacto, este es mínimo y no modificaría la conducta los organismos bentónicos, por lo cual su grado de alteración sería mínima;
- La extensión del impacto es (4). Solo abarcaría el área (dependiendo de la ubicación del dispositivo, distancia mar-tierra y del ancho del cable), donde pasa el cable por el fondo marino, esto no influye a más del 40% del bentos existente en ese lugar;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El campo magnético se producirá inmediatamente comience a funcionar el dispositivo;

- La duración del impacto es a largo plazo (10). El efecto se producirá durante toda la vida útil del dispositivo (más de 10 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la fase de operación, el dispositivo no generará energía por lo tanto el cable no producirá electromagnetismo.

Tabla 5. La significancia del impacto electromagnetismo sobre el bentos durante la fase de operación, sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	4	10	10	1	-2.95	Negativo poco significativo

6.4.1.2.d) Impacto: Alteración de las aves marinas producto del electromagnetismo por los cables de transmisión eléctrica.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del cable submarino transportador de energía, desde el dispositivo a una subestación en tierra.

Pelamis y Wave Bob como dispositivos generadores de energía de las olas, cuentan con un cable que transporta la energía, esto provocaría un aumento de electromagnetismo alrededor del cable de transmisión que va desde el dispositivo captador de energía de las olas hasta la subestación en tierra. Por lo tanto, al aumentar el electromagnetismo afectaría a las aves marinas que se sumerjan en el mar para la captura de su alimento y se acerquen a la zona donde se encuentra el cable de transmisión.

- **Elemento ambiental afectado: Aves marinas**

Este impacto fue evaluado para los pingüinos en la sección de neuston y considerándose aves marinas a las que se alimentan directamente del mar, ya sea en la superficie de este o en zonas más profundas.

Las aves pueden sumergirse o zambullirse (Figura 27) para capturar a sus presas, por lo cual, pueden verse afectadas por el campo magnético que produce el cable que baja del dispositivo al fondo marino para transportar la energía a la subestación en tierra. No hay estudios que demuestren este impacto, pues lo que se ha estudiado son las interacciones de las aves marinas con otros dispositivos generadores de energía (*e.g* parques eólicos), no con cables submarinos.

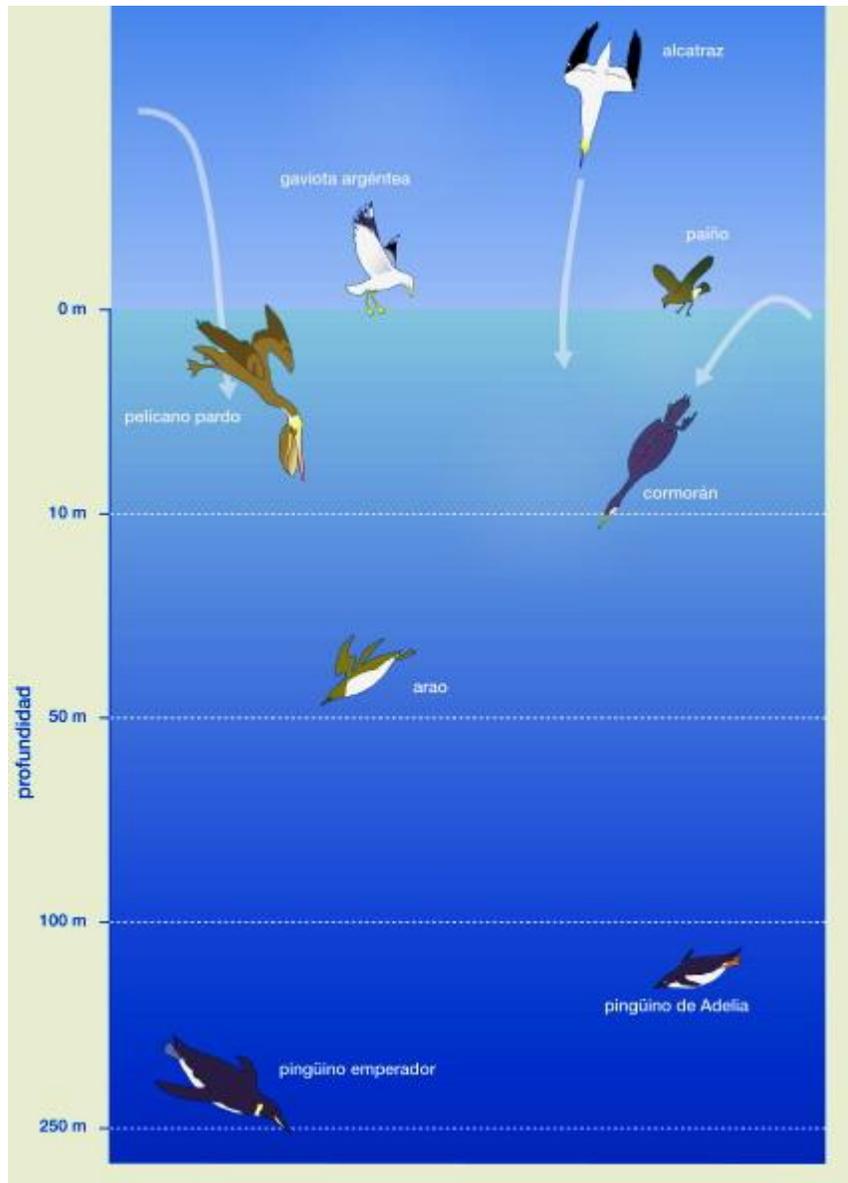


Figura 27. Distintas profundidades a las cuales pueden llegar las aves zambullidoras y nadadoras para capturar a sus presas.

Fuente: <http://www.elmarafondo.com/documents/10180/15145/gu%C3%ADa+did%C3%A1ctica+aves+marinas/444a3874-d905-40ff-a3a2-a42c063780e8>

6.4.5 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). El cable puede causar algún daño o efecto en las aves marinas;
- Relevancia del impacto es media (5). Es fundamental para estas especies alimentare de especies marinas, como peces y crustáceos, por lo que se pueden ver afectadas por el campo magnético emitido por el cable transportador de energía;
- La intensidad del impacto es media (5). El cable podría provocar cambios o alteraciones en las aves que se sumerjan o zambullan en el mar;
- La extensión del impacto es (4). Si bien afecta a las aves marinas que se encuentren en el lugar de instalación del dispositivo (menor al 40% del totalidad de las aves, ya que solo afectaría donde se encuentra el dispositivo), esto no representa al total de las aves (ver figura 21);
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Este impacto empieza a manifestarse desde la fase de operación del dispositivo;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). El efecto se producirá durante toda la vida útil del dispositivo (más de 10 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la fase de operación o vida útil del dispositivo, el cable dejara de emitir campo magnético que pueda afectar a las aves marinas.

Tabla 6. La significancia del impacto electromagnetismo sobre las aves durante la fase de operación, sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
1	5	5	4	10	10	1	-4,75	Negativo medianamente significativo

6.5 Impacto: Ruido

El mar nunca ha sido un entorno silencioso, siempre ha existido ruido, ya sea natural, como el de las olas, del viento y la lluvia o biológico como el que producen los seres vivos (S.A.E.S).

La emisión de ruido submarino podría afectar a la fauna marina, ya que muchos animales utilizan el sonido y las vibraciones para su navegación y localización de alimentos (Energía Marina en Chile). El sonido en el agua puede propagarse en sentido esférico y cilíndrico y a medida que se aleja de la fuente de emisión, tiene pérdidas por transmisión y su intensidad se atenúa.

El ruido submarino no se caracteriza por una única faceta medible, por el contrario es una serie de factores, diferentes, los que le caracterizan: frecuencia, ancho de banda, duración, intensidad, estructura temporal, además de ser una función directa del punto de medida y del camino entre fuente y receptor (las pérdidas en la propagación dependen de la profundidad del agua, de la estructura térmica de la columna de agua, de la absorción del fondo y de sus propiedades reflectivas y pueden alcanzar incrementos/disminuciones cifrables en un orden de magnitud) (Ranz, 2008).

Las perturbaciones acústicas introducidas por actividades ruidosas, pueden tener impactos en diferentes niveles en algunas especies y causar efectos adversos. Teniendo en cuenta que cada especie marina tiene una específica sensibilidad auditiva, algunos efectos del ruido submarino en los organismos marinos pueden ser: efectos físicos (auditivo y no auditivo), comportamiento, perceptivo, crónico-estrés, efectos indirectos (Patricio *et al.*, 2009).

El ruido generado por un dispositivo undimotriz, será la acumulación de diferentes fuentes que produzcan el sonido como la mecánica dentro del propio dispositivo y/o también su interacción con el agua (Patricio *et al.*, 2009).

Cualquier impacto de ruido por su funcionamiento, será más significativo durante la instalación de los dispositivos y las actividades de mantenimiento posteriores (Madsen *et al.*, 2006).

6.5.1 Descripción del impacto

6.5.1.1 *Etapa de instalación:*

6.5.1.1.a) Impacto: Alteración del necton producto del ruido submarino causado por el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, construcción de las zanjas (si es que el cable va soterrado) y la instalación de cable.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo provocará ruido en el ambiente marino.

En la fase de instalación, el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, la maquinaria de construcción de zanjas (para soterrar el cable transportador de energía) y la instalación del cable, producirán ruidos en el medio marino.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- Elemento ambiental afectado: Necton

La contaminación acústica submarina o subacuática puede considerarse como el exceso de ruido (entendido como sonido excesivo o molesto) provocado por el ser humano que altera las condiciones normal del medio ambiente en una determinada zona y produce efectos negativos sobre la salud auditiva y física de los seres vivos que en ella habitan.

Muchos de los organismos marinos utilizan sonidos para comunicarse, estos pueden verse interrumpido por el ruido generado por los dispositivos de generación undimotriz.

El ruido submarino puede provocar daños temporales o permanentes no letales en mamíferos marinos, puede aumentar su conducta agresiva (agonísticas), disminuye su capacidad de captar a su presa. Tanto en peces como en mamíferos marinos se ha visto una marcada reacción para evitar sonidos de 90 dB y unas reacción más moderada para sonidos de 75 dB de intensidad (Ellegard *et al.*, 2010).

Este ruido más molesto para el necton, solo se producirá en la fase de instalación, por el ingreso de las embarcaciones a instalar el dispositivo, su sistema de anclaje y el cable de transmisión, esto provocará mayor ruido bajo el agua lo que podría perturbar en ese tiempo a los organismos que se encuentren en la columna de agua. Tanto el ruido como las vibraciones pueden provocar un cambio en el comportamiento de los cetáceos (Dong-Energy & Vattenfall-A/S, 2006), provocando que estos emigren a otras áreas para alimentarse.

6.5.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se producirá un cambio en el ruido habitual del ambiente marino, lo que puede perturbar al necton;
- Relevancia del impacto es medio (5). Los organismos marinos afectados (necton), cumplen un rol importante en la cadena trófica del ambiente marino;
- La intensidad del impacto es medio (5). El ruido puede generar cambios de conducta en los organismos marinos, pero dentro de rangos aceptables;
- La extensión del impacto es (4). El área que se verá perjudicada por el ruido representa a menos del 40% del área total que abarca la instalación en dispositivo;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El ruido comienza a manifestarse desde la llegada de los barcos para la instalación del dispositivo, su sistema de anclaje y el cable de transmisión;

- La duración del impacto es inmediato (1). El ruido en gran cantidad solo se generará mientras se instala el dispositivo, su sistema de anclaje y el cable de transmisión; y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (4). Terminada la fase de construcción, bajará el nivel de ruido, pero este se mantendrá mientras funcione el dispositivo.

Tabla 7. La significancia para el impacto de ruido en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	5	4	10	1	4	-4.45	Negativo medianamente significativo

6.5.1.1.b) Impacto: Alteración del plancton producto del ruido submarino causado por el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, construcción de las zanjas (si es que el cable va soterrado) y la instalación de cable.

- Elemento ambiental afectado: Plancton

Los científicos marinos han utilizado ecosondas de alta frecuencia (100-330 kHz) para estudiar la vida acuática en los fiordos, el mar y en lagos. Estos estudios, aunque no numerosos, se han llevado a cabo con el propósito de medir la distribución de plancton en el rango de tamaño indicado en cuanto a una variación de decibeles (Castile, 1975). Demostrando que el plancton puede vivir (haciendo sus migraciones diurna y nocturna de forma normal) y se puede agrupar (o

ir donde hay más especies) en ciertas frecuencias de sonido. La dispersión de volumen se considerará que existe desde el fitoplancton hasta grandes ecos individuales de copépodos también observados.

Greenlaw (1977), demostró que el zooplancton pequeño es un poco más débil a los sonidos, pero aún así lo dispersa y los más grande son más fuertes para la dispersión del sonido. La mayor parte del zooplancton importante en los océanos son los crustáceos y poseen exoesqueletos de quitina que podría influenciar en la dispersión del sonido.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo provocará ruido en el ambiente marino.

6.5.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se debe considerar que si el sonido es mayor, podría causar algún daño en el plancton;
- Relevancia del impacto es baja (1). El plancton es muy abundante en el ambiente marino, si este impacto causara algún efecto en el sería muy bajo considerando su dispersión y desplazamiento en la columna de agua;
- La intensidad del impacto es baja (1). El grado de alteración al plancton es baja considerando su totalidad en el ambiente marino y si es que hubiese un impacto directamente en él;

- La extensión del impacto es (3). Este impacto no abarcaría o influenciaría a más de un 30 % del plancton total de la columna de agua en el lugar de instalación del dispositivo;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). De haber impacto este comenzaría a generarse desde el momento de instalación del dispositivo en el mar;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Su efecto durará hasta que terminen las obras del dispositivo en el lugar; y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la obra no se generará más este impacto.

Tabla 8. La significancia para el impacto de ruido en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	3	10	10	1	-2,75	Negativo poco significativo

6.5.1.1.c) Impacto: Alteración del bentos producto del ruido submarino causado por el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, construcción de las zanjas (si es que el cable va soterrado) y la instalación de cable.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo provocará ruido en el ambiente marino.
- **Elemento ambiental afectado: Bentos**

No hay indicios claros de que el ruido submarino provocado por la instalación de cables submarinos plantea un alto riesgo de dañar a la fauna marina (Richardson *et al.*, 1995). En cuanto al bentos se vería poco afectado por este impacto ya que las emisiones de ruido son bajas. Hay pocos estudios disponibles sobre el efecto del ruido en invertebrados marinos (Michel *et al.*, 2007).

6.5.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). A pesar de la poca información sobre el daño que el ruido pueda causar en organismos del bentos, si ocurriera esto sería negativo;
- Relevancia del impacto es media (5). Si bien no se sabe con exactitud cuál sería el daño que esto podría provocar en el bentos, este es un componente de la cadena trófica marina y al ser impactado causaría una reacción en cadena, afectando al sistema;
- La intensidad del impacto es media (5). Si el ruido provoca cambios en el bentos, ya habría un grado de alteración en estos organismos, lo cual cambiaría su condición basal;
- La extensión del impacto es (6). La superficie que abarcaría este impacto si llegara a suceder, sería desde donde se instala el cable esta en el fondo hasta la subestación en tierra (*e.g.* un 60 % del total de la instalación);
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde el momento de instalación del dispositivo y todo lo que abarque esto, se generará ruido y vibraciones;

- La duración del impacto es de largo plazo (10). Desde el momento de la instalación en adelante se producirá este impacto, y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Cuando el dispositivo termine su periodo de funcionamiento, ya no se desencadenará este impacto en el ambiente marino.

Tabla 9. La significancia para el impacto de ruido en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	5	6	10	10	1	-5,15	Negativo medianamente significativo

6.5.1.1.d) Impacto: Alteración de las aves producto del ruido causado por la instalación del dispositivo undimotriz.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo provocará ruido en el ambiente marino.
- **Elemento ambiental afectado: Aves marinas**

Existe poco conocimiento y poca investigación sobre este impacto en las aves marinas, si bien puede haber cierto parecido con los dispositivos mareomotrices o parques eólicos de acuerdo a la instalación en el mar, el impacto es diferente, ya que los ruidos en estos últimos son mayores causados por las turbinas que presentan.

El ruido o perturbación asociada a este impacto será producido por el equipo asociado al anclaje y el cableado; los impactos potenciales de estos son desconocidos y no existen estudios que cuantifiquen la actualidad ruido de instalaciones marítimas de energía renovable o los impactos sobre las aves marinas. Los estudios sugieren que el ruido producido por los aerogeneradores pueden enmascarar los sonidos de importancia biológica o incluso dañar los sistemas acústicos en una variedad de especies (Southall *et al.*, 2000, Gill & Kimber, 2005).

Poco se sabe acerca de la importancia de escuchar bajo el agua y si el ruido puede desorientar a las aves o afectar negativamente su éxito de forrajeo, en general, pueden verse más afectadas las especies que bucean a las que se alimentan de la superficie (Wilson *et al.*, 2006).

6.5.5 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Cualquier alteración a las aves que cambie el comportamiento o cause algún efecto se considera negativo;
- Relevancia del impacto es media (5). Las aves marinas han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas para hacer mejor uso de los recursos del mar, siendo un componente importante, para mantener el equilibrio en el sistema;
- La intensidad del impacto es media (5). Si hubiese un impacto en las aves, podría alterar su condición normal, pero no les causaría la muerte solo algún daño transitorio;
- La extensión del impacto es (4). Abarcaría desde donde se instala el dispositivo y por donde baja el cable de transmisión, aproximadamente un 40% del total de la instalación;

- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde que llegan los barcos para instalar el dispositivo se empieza a generar ruido que podría afectar a las aves marinas;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). El efecto del ruido durará hasta que el dispositivo cumpla su vida útil (alrededor de 20 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la instalación del dispositivo, el ruido bajara de intensidad (por la partida de los barcos) y solo se producirá el de este.

Tabla 10. La significancia para el impacto de ruido en las aves sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	5	4	10	10	1	-4,75	Negativo medianamente significativo

6.5.1.2 Etapa de operación:

6.5.1.2.a) Impacto: Alteración del necton producto del ruido submarino por la operación del dispositivo captador de la energía de las olas.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica.

En la etapa de operación del dispositivo captador de las olas modificarán las condiciones de presión sonora habituales en la columna de agua.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Necton**

El ruido submarino que se generaría será provocado por las turbinas, los generadores y los componentes hidráulicos (por ejemplo, como bombas y válvulas), así como otras partes móviles, tales como bisagras y actuadores. También se puede presentar ruidos secundarios causados por factores externos son difíciles de predecir pero podrían incluir el ruido de las ondas de agua que golpean el dispositivo, la vibración de amarras, y la cavitación (la formación y posterior implosión de las burbujas de descompresión en un volumen de agua sometida a desplazamiento rápido).

El sonido bajo el agua puede tener efectos severos en las cercanías de fuentes de altos niveles de ruido. Éstos pueden calificarse como efectos primarios (aquellos que pueden producir la muerte de animales cercanos a las fuentes de alto ruido, como tronaduras), secundarios (aquellos que pueden producir daño o sordera, que puede tener implicancias en el largo plazo para la sobrevivencia de los especímenes) y terciarios (aquellos que influyen en la conducta de los animales, pudiendo excluirlos de sus lugares de ocupación habitual; Nedwell *et al. op. cit.*).

Los mamíferos marinos y otros organismos marinos emiten y usan el sonido en el mar. En relación a las fuentes de ruido antropogénicas, debe considerarse que éstas pueden enmascarar e interferir con sonidos que son importantes para los mamíferos marinos.

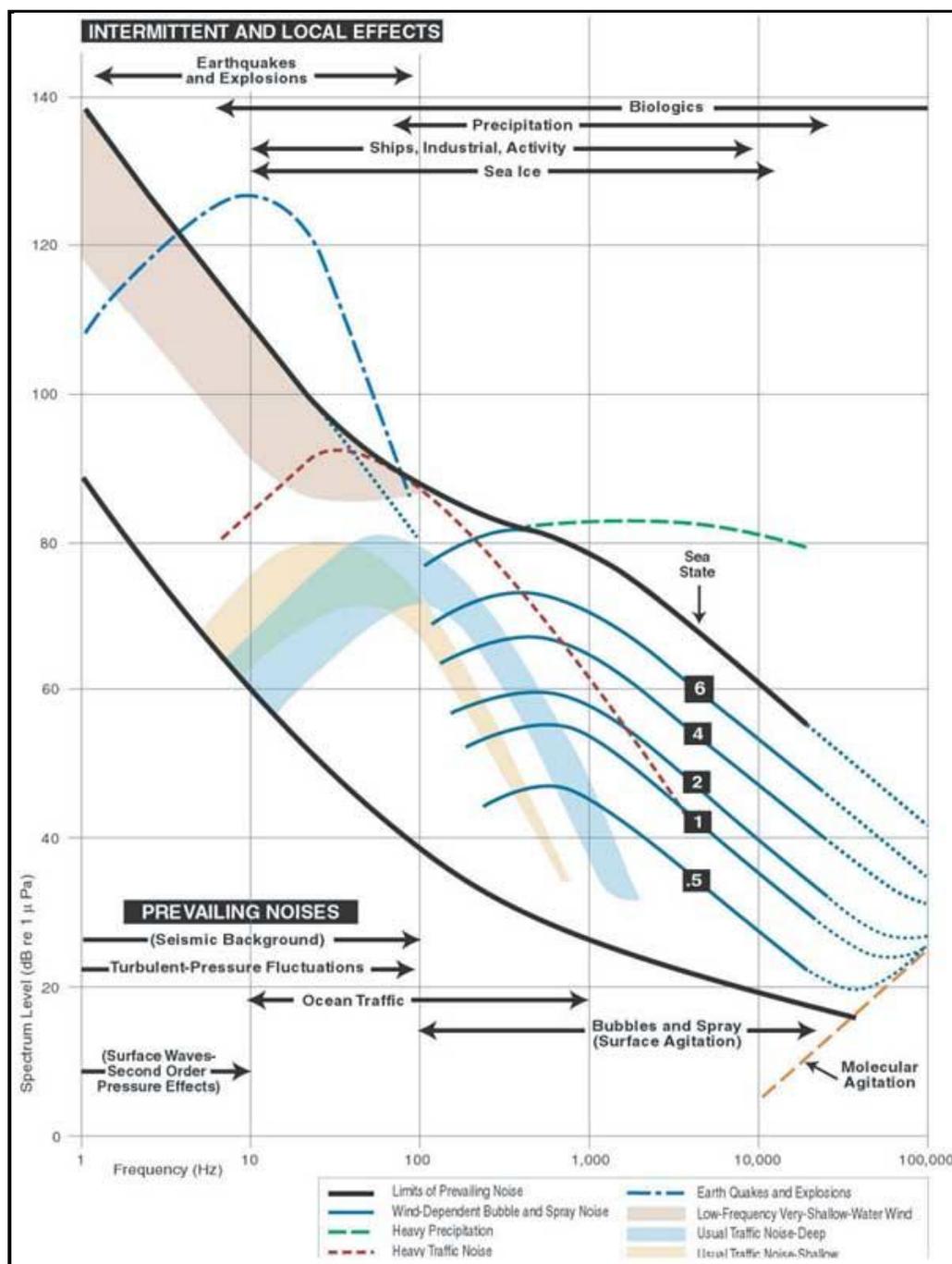


Figura 28. Curvas que describen la presión Wenz, adaptado a niveles de densidad espectral, ruido del ambiente marino (e.g clima, viento, actividad geológica y la navegación comercial). (Adaptado de Wenz, 1962, reproducida de informe del National Research Council, 2003). Fuente: http://stellwagen.noaa.gov/images/sb_sci_acou_back.jpg

La significancia de este enmascaramiento está en relación con el tiempo en que este ruido se presenta, y también con el grado de coincidencia y sobreposición con la frecuencia de los sonidos de interés (por ejemplo, señales de apareamiento, de alimentación).

Los sonidos derivados de actividades humanas pueden afectar el comportamiento de los mamíferos marinos, de modos sutiles imposibles de observar, la reacción de los mamíferos puede consistir en un cambio en la dirección y velocidad de la natación y el tipo de vocalizaciones que producen (Richardson *et al.*, 1995).

6.5.6 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). El ruido producido puede alterar las condiciones normales de los organismos marinos;
- Relevancia del impacto es medio (5). El componente en riesgo, en este caso el necton, cumple un rol fundamental en la cadena trófica;
- La intensidad del impacto es medio (5). El ruido puede provocar cambios en los organismos marinos, pero dentro de rangos aceptables;
- La extensión del impacto es (4). El área que se verá perjudicada por el ruido representa a menos del 40% del área total que abarca la instalación en dispositivo;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). En esta etapa de instalación ya se generarán ruidos asociados al dispositivo y/o cable;

- La duración del impacto es a largo plazo (10). El sonido se producirá durante toda la vida útil del dispositivo (más de 10 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la fase de operación, el dispositivo no generará más ruido.

Tabla 11. La significancia para el efecto del ruido en la etapa de operación en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	5	4	10	10	1	-4.75	Negativo medianamente significativo

6.5.1.2.b) Impacto: Alteración del plancton producto del ruido submarino causado por el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, construcción de las zanjas (si es que el cable va soterrado) y la instalación de cable.

- Elemento ambiental afectado: Plancton

Los eufáusidos son uno de los grupos dominantes del zooplancton marino, especialmente sobre la plataforma continental y en áreas de alta productividad, donde se caracterizan por su elevada abundancia y baja diversidad (Gibbons *et al.*, 1999). Según Holliday *et al.*, 1979, la fuerza de dispersión máxima prevista para un eufáusido 10 mm es de aproximadamente 240 kilohertz (kHz), con esto han observado su distribución en la columna de agua.

Al igual que en la etapa de instalación, este impacto no traería mayores consecuencias en el plancton a no ser que el ruido o las vibraciones sean mayores.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica.

En la etapa de operación del dispositivo captador de las olas modificarán las condiciones de presión sonora habituales en la columna de agua.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

6.5.7 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se debe considerar que si el sonido es mayor, podría causar algún daño en el plancton;
- Relevancia del impacto es baja (1). El plancton es muy abundante en el ambiente marino, si este impacto causara algún efecto en él sería muy bajo considerando su dispersión y desplazamiento en la columna de agua;
- La intensidad del impacto es baja (1). El grado de alteración al plancton es baja considerando su totalidad en el ambiente marino y si es que hubiese un impacto directamente en él;
- La extensión del impacto es (3). Este impacto no abarcaría o influenciaría a más de un 30 % del plancton total de la columna de agua en el lugar de instalación del dispositivo;

- El desarrollo del impacto es inmediato (10). De haber impacto, este comenzaría a generarse desde el momento de instalación del dispositivo en el mar;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Su efecto durará hasta que terminen las obras del dispositivo en el lugar; y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la obra no se generará más este impacto.

Tabla 12. La significancia para el efecto del ruido en la etapa de operación en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	3	10	10	1	-2,75	Negativo poco significativo

6.5.1.2.c) Impacto: Alteración del bentos producto del ruido submarino causado por el tránsito y operación de naves mayores y embarcaciones menores de apoyo, construcción de las zanjas (si es que el cable va soterrado) y la instalación de cable.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica.

En la etapa de operación del dispositivo captador de las olas modificarán las condiciones de presión sonora habituales en la columna de agua.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Bentos**

Los estudios sobre el impacto de ruido sobre invertebrados marinos han dado como resultado en consenso que son muy pocos los efectos que pueden provocar, a menos que los organismos estén muy cerca de la fuente de ruido (wind energy).

El ruido de los barcos depende del tamaño de la nave y la velocidad, aunque puede haber variaciones entre barcos similares (wind energy).

En la literatura no se encuentra mucha información sobre que impactos tendría el ruido y las vibraciones en el bentos, pero algunos autores concuerdan con que el impacto sería mínimo.

6.5.8 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Si hay un grado de perturbación que pueda alterar de forma negativa a los organismos del bentos, se considera dañino para estos;
- Relevancia del impacto es baja (1). Si bien el bentos es relevantes para otros organismos, este impacto no causaría daño en este grupo;
- La intensidad del impacto es baja (1). El grado de alteración que pueden sufrir es pequeño, prácticamente mantiene su condición original;

- La extensión del impacto es (3). Si el bentos se viera afectado, no sería más del 30 % lo que abarque el impacto;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El ruido se producirá desde el momento de la instalación del dispositivo, si bien en esta etapa es menor, puede afectar de igual manera al bentos;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará y/o se mantendrá, mientras esté en funcionamiento el dispositivo (alrededor de 20 años); y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Cuando deje de funcionar el dispositivo, este impacto cesará.

Tabla 13. La significancia para el efecto del ruido en la etapa de operación en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	3	10	10	1	-2,75	Negativo poco significativo

6.5.1.2.d) Impacto: Alteración de las aves producto del ruido causado el dispositivo undimotriz.

- Elemento ambiental afectado: Aves marinas

La mayoría de los impactos potenciales son considerados como de bajo o muy bajo riesgo para las poblaciones de aves (Halcrow Group Ltd. 2006a).

Una amplia gama de ruido de funcionamiento será producido por el equipo y asociado anclaje y el cableado; los impactos potenciales de estos son desconocidos y no existen estudios que cuantifiquen en la actualidad el ruido de las instalaciones marítimas de energía renovable y/o los impactos sobre las aves marinas (Grecian *et al.*, 2010).

6.5.9 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Si el ruido provocado por el dispositivo, los cables y el sistema de anclaje afectase a las aves marinas, tendría un carácter negativo por el deterioro que puede generar en las aves marinas;
- Relevancia del impacto es baja (1). La alteración a las aves por el ruido submarino no causaría mayor impacto, si bien pueden provocar algún efecto, este no sería perjudicial para las aves marinas;
- La intensidad del impacto es baja (1). De ocurrir este impacto, el grado de alteración para las aves sería mínimo;
- La extensión del impacto es (4). Este impacto abarcaría no más del 40 % del área total por donde transitan y se alimentan las aves marinas;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Este impacto se genera desde la instalación del dispositivo y sus componentes;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Este impacto, de generarse, dura hasta el término de la vida útil del dispositivo (alrededor de 20 años); y

- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Al término del funcionamiento del dispositivo no se generará más este impacto.

Tabla 14. La significancia para el efecto del ruido en la etapa de operación en las aves sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	4	10	10	1	-2,95	Negativo poco significativo

6.6 Impacto: Contaminación por derrame de hidrocarburos

6.6.1 Descripción del impacto

6.6.1.1 *Etapa de instalación:*

6.6.1.1.a) Impacto: no habrá impactos significativos en esta etapa del proyecto.

6.6.1.2 *Etapa de operación:*

6.6.1.2.a) Impacto: alteración del necton por contaminación de derrame de hidrocarburos

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica.

En esta etapa del proyecto, puede haber diferentes factores que causen contaminación al medio marino, siendo los tres dispositivos escogidos (Pelamis, Wave Bob y Oyster), los que puedan llegar a generar este impacto.

- **Elemento ambiental afectado: Necton**

La contaminación por la instalación de estos dispositivos undimotrices, se puede ocurrir por derrame de aceite (hidráulico) que ocupan los dispositivos para poder moverse. Este derrame es uno de los impactos menos frecuentes en este tipo de proyectos (Scottish Marine Renewables SEA, 2007), pero hay que considerarlo, ya que de ocurrir, lleva consigo una serie de cambios progresivos de sus propiedades físico-químicas los cuales se atribuyen al proceso de intemperización como: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsificación, sedimentación y biodegradación. Los organismos marinos como el necton se verán afectados en cuanto a los efectos tóxicos (envenenamiento), impregnación (suciedad y/o cobertura) causados por la composición química de los hidrocarburos, problemas inhalatorios (asfixia) y gastrointestinales lo cual podría ser mortal para estos organismos.

6.6.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Este impacto puede llegar a ser mortal para los organismos marinos;
- Relevancia del impacto es baja (1). El necton marino forma parte importante de la cadena trófica marina, si bien se vería afectado, esto no perjudicaría a todo el necton que transite por el área donde está instalado el dispositivo;
- La intensidad del impacto es media (5). Si ocurre derrame de aceite, el grado de alteración puede ser significativo para el ambiente marino, pero no mortal para todo el grupo (necton);

- La extensión del impacto es (4). El área de influencia no debe ser mayor al 40%, por las dimensiones de estos dispositivos, la contaminación sería solo en el lugar de instalación y alrededores;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). No es predecible si ocurrirá derrame de aceite, pero esto puede pasar desde el primer momento de operación del dispositivo;
- La duración del impacto es de mediano plazo (7). La duración de un derrame y su efecto en el ambiente marino dependen de la magnitud del derrame ; y
- La reversibilidad del impacto será recuperable (7). Este impacto y el daño que podría causar en el entorno marino podría demorarse alrededor de 10 años en ser asimilado, mediante procesos naturales o acciones correctoras.

Tabla 15. La significancia para el efecto de contaminación por derrame hidrocarburos en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	1	4	10	7	7	-5,05	Negativo medianamente significativo

6.6.1.2.b) Impacto: alteración del plancton por contaminación de derrame de hidrocarburos.

- Elemento ambiental afectado: Plancton

Los componentes del plancton son la base de la cadena alimentaria y algunos hidrocarburos pueden intoxicarlos y generar efectos nocivos en estos organismos marinos, pues concentraciones

inferiores a 0.1 partes por millón (ppm) inhiben la fotosíntesis, retardan la división celular y el crecimiento del plancton y las concentraciones mayores a 1 ppm ocasionan la muerte de gran cantidad de especies planctónicas (Botello *et al.*, 2006). Esto conllevaría a la emigración del plancton a otras regiones.

Como los hidrocarburos presentan una rápida dilución, se dispersa naturalmente y su distribución es en parches irregulares, hace que sean poco probables los efectos significativos en este grupo.

6.6.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Si hay derrame sobre el ambiente marino sería perjudicial para el plancton de la zona;
- Relevancia del impacto es baja (1). El plancton es fundamental en la cadena alimenticia, es el alimento de muchas especies marinas, por lo cual, su deterioro, muerte y/o contaminación puede ser perjudicial para este grupo y otros;
- La intensidad del impacto es media (5). Este impacto puede causar cambios notorios en la distribución del plancton en el área afectada, dentro de rangos aceptables;
- La extensión del impacto es (4). El área que se vería influenciada representaría al 40% o menos del área total del proyecto undimotriz;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde el momento que comiencen a funcionar el o los dispositivos, se puede generar derrame de aceites;

- La duración del impacto es de mediano plazo (7). Si ocurriese derrame de aceite la duración del impacto dependería de la magnitud del derrame; y
- La reversibilidad del impacto será recuperable (7). El sistema puede volver a la normalidad o recuperarse después de un determinado tiempo, ya sea naturalmente o por acciones correctoras.

Tabla 16. La significancia para el efecto de contaminación por derrame hidrocarburos en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	1	4	10	7	7	-5,05	Negativo medianamente significativo

6.6.1.2.c) Impacto: alteración del bentos por contaminación de derrame de hidrocarburos.

- Elemento ambiental afectado: Bentos

Derrames de aceite o hidrocarburos pueden provocar en organismos bentónicos y principalmente bivalvos, que al filtran sus alimentos reciban estos componentes en pequeñas partículas, las cuales se adhieren a sus tejidos. También se depositan en el sedimento afectando a los organismos marinos que posean escasa o nula movilidad. Esto sucedería en el caso de los dispositivos más cercanos a la costa, pues los otros al estar mar adentro casi no provocarían impacto por la distancia del dispositivo al fondo marino.

6.6.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Este impacto puede provocar cambios en el bentos pudiendo causar la muerte de algunos individuos;
- Relevancia del impacto es baja (1). Los organismos bentónicos cumplen un rol importante en el ambiente marino, y si se ven afectados o incluso llegar a morir, no afectaría a la totalidad del bentos en el sistema;
- La intensidad del impacto es media (5). La alteración del bentos marino es baja, pero al ser afectados cambiaría la condición basal de estos, afectando a otros organismos del sistema que vivan o consuman organismos del bentos;
- La extensión del impacto es (4). El área de extensión que podrían abarcar los organismos bentónicos en caso de un derrame es del 40% (desde el dispositivo hasta la orilla) del total del área de instalación;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Este impacto en el bentos marino se desarrollaría de manera inmediata desde el momento del derrame;
- La duración del impacto es de mediano plazo (7). La contaminación al bentos marino por derrames de aceites o sustancias pesadas (compuestos de hidrocarburos), puede verse reflejado de inmediato o a largo plazo; y
- La reversibilidad del impacto será recuperable (7). Dado que las consecuencias por derrame puede ser inmediatas o a largo plazo, el tiempo estimado para su recuperación es variable, pudiendo llegar a recuperarse el sistema, ya sea de forma natural o correctora.

Tabla 17. La significancia para el efecto de contaminación por derrame de hidrocarburos en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	5	4	10	7	7	-4,45	Negativo medianamente significativo

6.6.1.2.d) Impacto: alteración de las aves por contaminación de derrame de hidrocarburos

- Elemento ambiental afectado: Aves marinas

Las aves pueden verse afectadas en un derrame de aceite o hidrocarburos puesto que ellas se alimentan de organismos marinos de la columna de agua. Al ingresar en aguas contaminadas, este aceite se podría adherir al cuerpo de las aves, impidiéndoles su vuelo, provocándoles asfixia en algunos casos, y en algunas (si el derrame es de un metal muy pesado) causarles la muerte. Este riesgo solo ocurriría si no funcionaran los mecanismos que poseen los dispositivos para controlar las fugas de líquidos hidráulicos.

6.6.5 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es (-1). Al haber derrame de hidrocarburos, se provocará un impacto negativo en las aves, la que incluso podría causarle la muerte;
- Relevancia del impacto es baja (1). Las aves cumplen un rol importante en la cadena alimenticia marina, las cuales se vería perjudicadas si ocurriera un derrame, pero es un impacto de bajo riesgo ya que los dispositivos están preparados para estas emergencias;

- La intensidad del impacto es baja (1). Si ocurriese un derrame de hidrocarburos este sería mínimo ya que los dispositivos tienen sistemas de control de derrames, por lo que no se vería afectado el ambiente marino;
- La extensión del impacto es (5). Si llegase a haber derrames, estos se podrían desplazar por las corrientes de agua y abarcar una mayor área de impacto, alrededor de un 50% del total de la instalación;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Después de la instalación del dispositivo el derrame puede ocurrir por cualquier falla;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Esto puede durar dependiendo la magnitud del derrame, si este llega al fondo marino y se mete entre la arena o el fango, provocaría un retraso en la descomposición de los organismos marinos y más aún en su recuperación;
- La reversibilidad del impacto será recuperable (7). La recuperación del sistema está ligada a la cantidad de derrame que se vierta en el ambiente marino, pero se estima que sobre los 10 años se puede recuperar el sistema.

Tabla 18. La significancia para el efecto de contaminación por derrame de hidrocarburos en las aves sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	5	10	10	7	-4,35	Negativo medianamente significativo

6.7 Impacto: Remoción de sedimento

6.7.1 Descripción del impacto

6.7.1.1 *Etapa de instalación:*

6.7.1.1.a) Impacto: Alteración del Necton por remoción de sedimento.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Construcción de zanja para cable (en caso que fuera soterrado), instalación de sistemas de anclaje e instalación de cañerías.

Este impacto es generado por la remoción de sedimento provocado por la excavación de la zanja o canal de soterramiento para el cable submarino, que va desde el dispositivo hasta la subestación en tierra y por los pilotes o estructuras de amarre de Pelamis y Wave Bob. En cuanto a Oyster será por su instalación sobre el fondo marino y por la cañería que transporta el agua hasta la subestación en tierra.

- **Elemento ambiental afectado: Necton**

En el fondo marino las perturbaciones se asocian a la excavación de la zanja provocará la resuspensión y redistribución de sedimentos, y cuya fracción de finos, junto con la materia orgánica, los nutrientes, metales y otros elementos, será arrastrada por la corriente de turbidez producida al momento de las faenas, la cual volverá a asentarse dentro de las siguientes 24 h de realizada la excavación, en el área bajo la pluma de dispersión. El asentamiento de partículas re-suspendidas tiene diferente impacto en el espacio y el tiempo. Las partículas pequeñas de limo,

arcillas, etc. pueden ser advectadas largas distancias y demorar días en asentarse nuevamente, mientras que las partículas de mayor tamaño (*e.g* minerales, agregados, etc.) pueden sedimentar en el mismo lugar en períodos de minutos/horas (H González, comunicación personal).

Esta remoción de sedimento puede provocar cambios en la composición de la cadena alimenticia de los organismos marinos que allí se encuentren, puede ocurrir mayor competencia entre las especies y cambios en los depredadores del lugar.

Los peces, pese a los inconvenientes temporales, tienen la capacidad de adaptarse y explotar el mismo hábitat en zonas cercanas; particularmente, para aquellas especies que son de hábito pelágico y demersales, que se mantienen permanentemente en movimiento. En ese sentido, la ocurrencia de una perturbación es relativa, pues los animales pueden desplazarse sin mayor dificultad. Ésta será un poco mayor para los peces de hábito bentónico que reposan, se alimentan y depositan sus posturas en el fondo marino. Aun así, si el lugar es intervenido o no es adecuado para un pez, este buscará otro lugar para hacer su desove, por lo cual el impacto debería ser mínimo.

6.7.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se alterará la turbidez habitual del agua;
- Relevancia del impacto es media (5). El necton marino cumple un rol fundamental en la cadena trófica;

- La intensidad del impacto es media (5). La turbidez del agua debido a la remoción de sedimento, solo alteraría un poco la conducta del necton, no imposibilitaría su vida en ese lugar;
- La extensión del impacto es (7). Por las corrientes, esta turbidez o remoción de sedimento se puede desplazar hacia otros lugares de la columna de agua;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Esto se manifiesta desde la instalación del dispositivo y la creación de la zanja para el cable o la instalación del dispositivo;
- La duración del impacto es inmediato (1). Esta suspensión de sedimento solo durará mientras se realicen las faenas, cesado los trabajos, el sedimento suspendido vuelve a descender; y
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminada la zanja o la instalación del dispositivo, no se producirá más remoción de sedimento.

Tabla 19. La significancia para el efecto de remoción de sedimento en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	5	7	10	1	1	-4,45	Negativo medianamente significativo

6.7.1.1.b) Impacto: Alteración del Plancton por remoción de sedimento.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Construcción de zanja para cable (en caso que fuera soterrado), instalación de sistemas de anclaje e instalación de cañerías.

Este impacto es generado por la remoción de sedimento provocado por la fabricación de la zanja o canal de soterramiento para el cable submarino, que va desde el dispositivo hasta la subestación en tierra y por los pilotes o estructuras de amarre de Pelamis y Wave Bob. En cuanto a Oyster será por su instalación sobre el fondo marino y por la cañería que transporta el agua hasta la subestación en tierra.

- **Elemento ambiental afectado: Plancton**

El plancton puede estar distribuido en diferentes profundidades de la columna de agua todo dependiendo de la estación del año, la temperatura, salinidad y la penetración luminosa, y por ello la turbidez (medida *e.g.* con disco Secchi) que presente la columna de agua, y de los taxa presentes (*e.g.* el ictioplancton presenta “gota oleosa” que le da flotabilidad), por tanto no es un conjunto homogéneo, ya que cada grupo está ubicado en distintas capas de la columna de agua. También estos grupos presentan migraciones diurnas y nocturnas (más frecuentes), por lo que podemos encontrar mayor cantidad de plancton en la superficie del agua en la noche.

El plancton no se vería afectado por la remoción de sedimento ya que en condiciones normales el mar tiende a sufrir cambios y movimientos, ya sea por corrientes de agua, surgencias, ENOS (El Niño, Oscilación del Sur), mal tiempo, entre otros. Esto provoca resuspensión de partículas, levantamiento de lodo, fango o arena, lo cual pasado un cierto periodo de tiempo (una hora aproximadamente dependiendo las condiciones del mar) vuelve a sedimentar. Es por esto que no se esperan cambios significativos en la distribución del plancton, pues son procesos a los cuales

estos organismos están asociados y adaptados (pueden soportar cambios extremos de su ambiente).

6.7.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Puede existir un cambio en la distribución del plancton, pero solo será mientras se instale el dispositivo. No se produciría una mortalidad significativa, si es que la hubiera;
- Relevancia del impacto es media (5). El plancton sin duda ocupa un rol fundamental en la cadena trófica de los organismos marinos, es abundante a lo largo de la zona centro-sur de Chile;
- La intensidad del impacto es baja (1). No se produciría mayor cambio en las comunidades de plancton, prácticamente se mantiene igual (Report to Congress on the Potential Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Energy Technologies, 2009);
- La extensión del impacto es (3). El plancton se distribuye libremente por toda la columna de agua y la remoción de sedimento se produciría donde se instalen los sistemas de anclaje del dispositivo, en el lugar donde se construya la zanja para soterrar el cable y donde se instale la cañería para el transporte del agua;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Este impacto empieza a desarrollarse desde el momento de limpieza de fondo para la instalación de los sistemas de anclaje del dispositivo, cuando se construya la zanja para soterrar el cable y donde se instale la

cañería para el transporte del agua, estos impactos deberían incidir en menos de 1 año desde el comienzo de la obra;

- La duración del impacto es inmediato (1). Terminada la fase de construcción, no se produciría remoción de sedimento.
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Cualquier cambio que se produzca en las comunidades planctónicas, es totalmente reversible, estos pueden volver a propagarse sin problema alguno, (como postula la “paradoja del plancton”) (Hutchinson 1961).

Tabla 20. La significancia para el efecto de remoción de sedimento en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	1	3	10	1	1	-3,05	Negativo poco significativo

6.7.1.1.c) Impacto: Modificación de la morfología del fondo marino por la instalación del cable submarino e instalación de sistema de anclaje.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Construcción de zanja para cable (en caso que fuera soterrado), instalación de sistemas de anclaje e instalación de cañerías.

Este impacto es generado por el cable submarino transportador de energía que va desde el dispositivo hasta la subestación en tierra (pensando en que el cable es soterrado) y por los pilotes o

estructuras de amarre de Pelamis y Wave Bob. En cuanto a Oyster será por su instalación sobre el fondo marino y por la cañería que transporta el agua hasta la subestación en tierra.

- **Elemento ambiental afectado: Bentos**

La alteración del fondo marino se producirá por la instalación de los pilotes o estructuras de amarre de estos dispositivos sobre el fondo marino, lo que produciría un cambio en la morfología y distribución de los organismos que allí habitan. Si el cable es soterrado, se removerá mucho sedimento y se cambiarán de lugar comunidades sésiles que habitan en esa parte del fondo, lo que producirá una perturbación en el sistema y sus consecuencias pueden ser la disminución de la riqueza ecológica, diversidad y abundancia de los organismos que habitan en el fondo marino.

Los organismos móviles pueden reubicarse en zonas cercanas o bien, hundirse por la maquinaria pesada que por allí transite. Esto igual afectara a los organismos con poca movilidad o sésiles como tunicados, moluscos, equinodermos, algas, entre otros. Estos podrían desaparecer del lugar donde se construye la zanja o se coloca el pilote.

Al momento de la construcción, las especies móviles de la macrofauna podrán escapar de la zona que será excavada, pero aquellas de movilidad restringida y las que viven enterradas en el sedimento, desaparecerán. Sin embargo, para estas últimas, se espera que al cabo de dos a tres años (Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Sistema de Transmisión Aysén, 2012), exista una recuperación de los sedimentos y recubrimiento de las zonas excavadas (producto de la sedimentación consecutiva a la excavación y a las corrientes circundantes) que permita una

recolonización del sustrato y el establecimiento de nuevos ensambles comunitarios de infauna (por inmigración y/o reclutamiento). Al respecto, cabe señalar que el proceso de recolonización y restablecimiento de una nueva comunidad, no será, necesariamente, homogéneo en todas las profundidades, puesto que en zonas someras (hasta 30 m, aproximadamente), la influencia de factores tales como mareas y oleaje, representa una fuente permanente de perturbación física y fluctuación del ambiente, que puede ralentizar el proceso; y cuya importancia decrece hacia profundidades mayores, donde el ambiente suele ser más estable (Gray & Elliot, 2009).

El tipo de organismos que vuelva a repoblar estos sedimentos de relleno, dependerá, en parte, de la composición física (tamaño de partícula) de los sedimentos en cuestión y el grado de movimiento que éstos experimenten por la acción del oleaje y las mareas. En ese sentido, pudiera ocurrir que aquellas especies crustosas (*e.g. Hildenbrandia*) e incrustantes (*e.g. Jehlius cirratus* y *Notochthamalus scabrosus*), que habitualmente se observan sobre cantos rodados mayores, podrían no volver a presentarse en la zona intervenida, dado que es poco probable que ese tipo de sustrato, pesado y voluminoso, sea utilizado para cubrir la trinchera de cemento (que debe tener un grado de accesibilidad razonable en caso que sea necesaria una inspección detallada y/o reparación de algunos de los cables).

6.7.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se alterará las condiciones normales del fondo marino, lo que provocará una perturbación en los organismos marinos;

- Relevancia del impacto es alta (10). El bentos marino cumple un rol fundamental para mantener las condiciones normales de materia orgánica en el fondo marino;
- La intensidad del impacto es alta (10). El dragado de sedimento para hacer la franja, alteraría considerablemente a los organismos marinos que allí habiten;
- La extensión del impacto es (6). La remoción de sedimento se produciría desde donde está ubicado el dispositivo hasta la subestación en tierra (alrededor de 5km);
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). El impacto puede empezar a desarrollarse o manifestarse en menos de un año, cuando comiencen las obras para despejar el fondo marino;
- La duración del impacto es corto plazo (4). Los organismos bentónicos o comunidades que habiten la zona afectada pueden lograr recuperarse con el tiempo; y
- La reversibilidad del impacto será reversible (4). Después de unos años se puede recuperar las condiciones del lugar.

Tabla 21. La significancia para el efecto de remoción de sedimento en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	10	10	6	10	4	4	-7,4	Negativo significativo

Este impacto no sería aplicado a las aves marinas.

6.7.1.2 Etapa de operación:

6.7.1.2.a) Impacto: No se producirá impacto por remoción de sedimento en esta etapa del proyecto.

6.8 Impacto: Cambio en el oleaje

6.8.1 Descripción del impacto

6.8.1.1 Etapa de instalación:

6.8.1.1.a) Impacto: No se produciría cambios en el oleaje en esta etapa del proyecto.

6.8.1.2 Etapa de operación:

6.8.1.2.a) Impacto: Cambio en la velocidad del oleaje después de pasar por el dispositivo, puede provocar cambios en la deriva litoral.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz en el mar.

Este impacto será provocado por los tres dispositivos captadores de energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

La deriva litoral consiste en el transporte de sedimentos a lo largo de toda a costa. El sedimento es transportado por acción del viento y del oleaje, esto ayuda a la formación de playas, cumple un rol fundamental en la evolución de esta.

Es en este sector de la costa donde viven muchos organismos como pulgas de mar, cirripedios, algunas algas, entre otros.

- **Elemento ambiental afectado: Bentos**

La instalación de un dispositivo undimotriz en la costa podría generar una pérdida de energía de las olas al momento de pasar el dispositivo el que se transformaría en una barrera para el desplazamiento de las olas hacia la costa, lo que puede provocar una pérdida de la energía generada, esto se ha estimado entre un 3% y un 13% en la costa, reconociéndose que el efecto sobre las olas, las corrientes y el transporte de sedimentos será la tecnología y el lugar de instalación, por lo tanto se tiene que buscar una ubicación apropiada (Michel *et al.*, 2007). Esto puede provocar cambios en la línea de la costa y en la formación de la deriva litoral, produciendo cambios en las playas cercanas al dispositivo, más erosión y menos sedimentación, lo que afectaría a los organismos que allí habitan.

Algunos estudios señalan que los impactos en las costas serían mínimos, no alterarían las condiciones naturales del litoral, pero deberían haber actividades de equipo pesado para minimizar esta alteración (*e.g.* el uso de un lecho de grava favorecería el drenaje del agua subterránea). También señalan que estos dispositivos no alterarían las corrientes o las direcciones de onda, por lo que la geografía de la playa no se vería afectada, por lo tanto no habría problemas de erosión ni de deposición de arena (ONR, 2003).

6.8.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Se puede producir un cambio en la línea de la costa por la disminución de la deriva costera.
- Relevancia del impacto es baja (1). Si bien se puede provocar un cambio en la deriva litoral, este es mínimo. La abundancia de organismos que habiten allí sería mucho mayor de la que se pueda ver afectada;
- La intensidad del impacto es baja (1). Si el dispositivo llegara a provocar un cambio en la velocidad del oleaje, podría haber un pequeño grado de alteración;
- La extensión del impacto es (2). Si bien puede ocurrir un impacto, este sería mínimo, no alterando más del 20 % del área total de la playa;
- El desarrollo del impacto es de corto plazo (7). Si hubiera erosión de la playa, este no se da de forma inmediata;
- La duración del impacto es de largo plazo (10). Esto durará mientras este el dispositivo o los dispositivos en la costa, pensando en que estos dispositivos tienen una vida útil de 20 años, y;
- La reversibilidad del impacto será recuperable (7). Esto puede suceder si la erosión de la playa no es de un grado mayor e irreversible. Pero en la mayoría de los casos, y como los dispositivos no son de mayor tamaño, la playa podría recuperarse por acción antrópica.

Tabla 22. La significancia para el efecto de cambio en el oleaje sobre el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	2	7	10	7	-3,6	Negativo poco significativo

En este impacto no se verían afectados los demás grupos.

6.9 Impacto: Limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos

6.9.1 Descripción del impacto

6.9.1.1 Etapa de instalación:

6.9.1.1.a) Impacto: En esta etapa no se verán afectados los organismos marinos, ya que los barcos que llevan el dispositivo van de forma transitoria, sería algo similar a las embarcaciones que transitan por pesca y/o buques de estudios marinos.

6.9.1.2 Etapa de operación:

6.9.1.2.a) Impacto: la instalación de dispositivos captadores de energía de las olas puede interrumpir el libre desplazamiento y la migración de algún organismo marino.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Necton**

En general experiencias en otros países (*e.g* islas Orkney), no han detectado casos de choques de mamíferos marinos o alguna especie marina con los dispositivos. Una de las mayores preocupaciones en relación con los mamíferos marinos costeros es la pérdida de hábitats críticos –áreas de importancia para actividades biológicas esenciales como alimentación y crianza– debido al incremento exponencial de actividades humanas en áreas costeras (Hucke-Gaete *et al.*, 2006). Como Chile es conocido como ruta de migración de algunas especies de ballenas, se debe tomar consideración al momento del estudio. Michel *et al.*, 2007 postula que delfines y pinnípedos más pequeños podrían moverse fácilmente alrededor de los cables de amarre, sin estos ser impedimento. Pero las ballenas podrían tener dificultad en una instalación de más de un dispositivo, donde hayan muchas líneas de transmisiones juntas o cercanas. Las especies marinas con grandes aletas pectorales o de mayor tamaño pueden ser relativamente más vulnerables a los cables de amarre (*e.g* enredos de ballenas jorobadas con macetas y líneas redes de enmalle) (Johnson *et al.*, 2005). Boehlert *et al.*, 2008 sugiere que las ballenas probablemente no sientan la presencia de cables de amarre, y como resultado puedan golpearlos o enredarse. Además se cree que si la densidad de los cables es muy grande podría tener un “efecto muro”, lo que provocaría que las ballenas pasaran alrededor de este cambiando sus rutas de migración.

Los dispositivos Pelamis y Wave Bob, presentan cierto anclaje con amarres, que podrían ser perjudiciales para los organismos marinos que por ahí transiten. En el caso de Oyster, sería una barrera, como va fijo al fondo marino y se mueve como una palanca, más de un dispositivo podría ser perjudicial.

6.9.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Al instalar el dispositivo en el mar, se origina la interrupción del tránsito de organismos marinos por esa ruta;
- Relevancia del impacto es media (5). Cualquier cosa que actúe como barrera y sea instalada en el mar, puede ser perjudicial para los organismos marinos;
- La intensidad del impacto es baja (1). El área que abarca el dispositivo no es mucha lo cual hace probable que existan pocas o casi ninguna colisión de algún organismo con el dispositivo;
- La extensión del impacto es (4). Los dispositivos no son de mayor tamaño, lo cual favorece su instalación y el área que utilizan es menor, lo que favorecería para evitar las colisiones;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Al momento de instalar el dispositivo en el mar se podría generar este impacto;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Mientras se mantenga en funcionamiento el dispositivo y como su vida útil es mayor a 10 años, este impacto se puede dar en cualquier momento desde la instalación del dispositivo, y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Al dejar de funcionar y retirar el dispositivo del lugar ya no se generaría problema con el tránsito de organismos marinos por el sector.

Tabla 23. La significancia para el efecto de la limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	1	4	10	10	1	-4,15	Negativo medianamente significativo

Para plancton y bentos no se generaría este impacto.

6.9.1.2.b) Impacto: la instalación de dispositivos captadores de energía de las olas puede interrumpir el libre desplazamiento y la migración de algunas aves.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Aves.**

Los dispositivos undimotrices cuentan con luces para ser detectados por barcos y otras embarcaciones que transiten por el lugar de instalación por la noche. Las aves pueden sentirse atraídas por estas luces provocando perturbación, desorientación y/o choque con el dispositivo, tanto por encima como por debajo de la superficie del agua. También estos dispositivos pueden obstruir el área de alimentación de las aves.

La mayoría de los impactos potenciales son considerados como de bajo o muy bajo riesgo para las poblaciones de aves (Halcrow, 2006). No hay modelos específicos que se hayan desarrollado para evaluar los impactos de las aves con dispositivos unidimensionales (Michel *et al.*, 2007).

6.9.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). El dispositivo podría causar choques, desorientación o perturbación de las aves;
- Relevancia del impacto es baja (1). Si bien hay un impacto, es de baja intensidad en la población total de aves;
- La intensidad del impacto es bajo (1). El grado de alteración a las aves sería pequeño, manteniéndose su condición basal;
- La extensión del impacto es (2). No se vería afectada más del 20% del total de aves del lugar o área donde esté instalado el o los dispositivos;
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Este impacto puede comenzar a desarrollarse después de instalados el o los dispositivos, antes de un año;
- La duración del impacto es a largo plazo (10). Esto se mantendría mientras este el dispositivo en funcionamiento, y su vida útil es de 20 años aproximadamente, por lo que el impacto sería de larga duración, y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Terminando el funcionamiento del dispositivo y sacándolo del mar, no se generará más impacto a las aves.

Tabla 24. La significancia para el efecto de la limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos en las aves sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	2	10	10	1	-2,55	Negativo poco significativo

6.10 Impacto: Calor provocado por el cable de transmisión

El paso de una línea de interconexión a muy alta tensión a través del mar puede realizarse, en principio, utilizando dos técnicas diferentes, mediante un cable submarino con tensión alterna (corriente alterna c.a) o mediante un cable submarino con tensión continua (corriente continua c.c). Las pérdidas de calor están asociadas a los materiales de construcción de los cables, estos experimentan una variación de temperatura que es transmitida al ambiente mediante la evacuación del calor generado. El cable submarino actúa como una fuente de calor distribuida, sumergida en un material de alta conductividad térmica, como es el agua de mar y favorecido además por procesos de convección del fluido. Si el cable es enterrado en el sustrato, la conductividad térmica disminuye, pues no hay fluido circulante (Estudios campos eléctricos y magnéticos HVDC Aysén, 2011).

Los factores importantes que determinan el grado de aumento de la temperatura son: las características del cable (*e.g* tipo de cable), la velocidad de transmisión y las características del medio ambiente circundante (*e.g* temperatura del ambiente, conductividad térmica, resistencia térmica del sedimento, entre otras) (OSPAR commission, 2008).

El importe de las pérdidas de calor en la potencia de transmisión total es de 10-100 W por metro de cable, que corresponde al calor de una bombilla de luz blanca por cada metro (Worzyk, 2009). En el caso de cables sumergidos en el fondo marino, se observa una reducción drástica de temperatura desde la ubicación de los cables. El gradiente de temperatura es muy alto cerca del cable, y se reduce hasta anularse en la posición intermedia de cables; la zona comprometida por la temperatura del cable puede estimarse del orden de 100 m, aproximadamente ± 50 m en torno al cable (Estudios campos eléctricos y magnéticos HVDC Aysén, 2011).

6.10.1 Descripción del impacto

6.10.1.1 *Etapa de instalación:*

6.10.1.1.a) Impacto: No se provocará impacto en esta etapa del proyecto porque es el cable el que transmite el calor y aun no está instalado ni en funcionamiento en esta fase.

6.10.1.2 *Etapa de operación:*

6.10.1.2.a) Impacto: Calor generado o disipado por el cable de transmisión submarina puede afectar al Necton que transite cerca del cable.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica, pérdida de calor del cable submarino.

Los cables de potencia que distribuyen energía eléctrica desde una fuente (dispositivo unidimotriz), hasta una subestación, presentan un porcentaje de pérdida de energía que se disipa

en forma de calor, lo que tal vez podría afectar a los organismos marinos que se encuentren cerca del cable. Este impacto sería provocado por Pelamis y Wave Bob.

- **Elemento ambiental afectado: Necton.**

El cambio de temperatura del agua alrededor del cable puede no ser perjudicial para el necton que transite o se alimenten ese lugar, como estos se desplazan libremente por la columna de agua de forma vertical y horizontal sin ser arrastrados por esta, puede ser poco influyente el cambio de temperatura generado por el cable de transmisión. A medida que aumenta la distancia del cable, disminuye la temperatura, aparte los cables submarinos están diseñados para eliminar las pérdidas excesivas, sin causar daño alguno (Worzyk, 2009). No hay estudios suficientes relacionados con este impacto (OSPAR, 2012).

6.10.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Puede llegar a generar un mínimo problema al necton marino, habría que estudiarlo;
- Relevancia del impacto es baja (1). Si bien los organismos nectónicos pueden verse afectados por el cambio de temperatura generado alrededor del cable submarino, no es un problema que les cause alguna afección y/o la muerte;
- La intensidad del impacto es baja (1). No hay estudios que demuestren un alto grado de alteraciones en los componentes del necton;
- La extensión del impacto es (3). Solo afecta los alrededores del cable;

- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde que comienza a funcionar el dispositivo undimotriz, el cable transportará energía del cual se puede disipar el calor;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). En el momento en que termine de funcionar el dispositivo, ya no habrá más traslado de energía, por lo cual el cable no generará calor.

Tabla 25. La significancia para el efecto del calor provocado por el cable de transmisión en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	3	10	10	1	-2,75	Negativo poco significativo

6.10.1.2.b) Impacto: Calor generado o disipado por el cable de transmisión submarina puede afectar al plancton que se encuentre cerca del cable.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica, pérdida de calor del cable submarino.

Los cables de potencia que distribuyen energía eléctrica desde una fuente (dispositivo undimotriz), hasta una subestación, presentan un porcentaje de pérdida de energía que se disipa

en forma de calor, lo que tal vez podría afectar a los organismos marinos que se encuentren cerca del cable. Este impacto sería provocado por Pelamis y Wave Bob.

- **Elemento ambiental afectado: Plancton.**

El plancton puede verse afectado cuando hay cambios significativos de la temperatura del agua, salinidad, pH, etc., para este caso donde la temperatura del agua cambiara por la disipación de energía del cable no más de 1°C (Ellegård *et al.*, 2010), no se esperan cambios en las comunidades plantónicas. También según estudios de laboratorio (Bay-Schmith, 2012) demuestran que temperaturas 8 a 9% más calientes que la temperatura normal del agua, no causan efecto alguno, incluso formas tan delicadas como pequeñas medusas mantuvieron su forma y vitalidad nadando activamente tal como lo hacían antes de este cambio de temperatura. Entre los organismos que se reconocieron en ambas muestras habían numerosas microalgas con especies de diatomeas, dinoflagelados y clorófitas; invertebrados como larvas de poliquetos, larvas nauplius de crustáceos y copépodos adultos, estado medusa de hydroideos, larva veliger de molusco gastrópodo, estados tempranos de larvas ciliadas tipo trocófora de anélidos o moluscos, tintínidos, ciliados pequeños y nemátodos.

6.10.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (-1). Aunque no cause problemas en las comunidades planctónicas se considera como negativo por el hecho de cambiar la condición basal del ambiente marino (aumento de temperatura);

- Relevancia del impacto es baja (1). El impacto generado por el calor, al ser mínimo, no afecta a las comunidades planctónicas que estén suspendidas en la columna de agua, si bien el plancton es relevante para otros organismos, este no se vería disminuido ni amenazado por el cambio de la temperatura del agua circundante al cable;
- La intensidad del impacto es baja (1). Para este caso no se registra mayor alteración del plancton, por lo que el impacto es casi nulo (Bay-Schmith, 2012, informe LB-BIOE-R-05/1002);
- La extensión del impacto es (3). El área que se podría ver afectada es solo la que se encuentra alrededor del cable, no se extiende más allá (Worzyk, 2009);
- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde que comienza a funcionar el dispositivo undimotriz, el cable transportará energía del cual se disipa el calor;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). En el momento en que termine de funcionar el dispositivo, ya no habrá más traslado de energía a través del cable por lo tanto no se generará pérdida de calor.

Tabla 26. La significancia para el efecto del calor provocado por el cable de transmisión en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	1	1	3	10	10	1	-2,75	Negativo poco significativo

6.10.1.2.c) Impacto: Calor generado o disipado por el cable de transmisión submarina puede provocar cambios o alteraciones en el bentos.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Generación de energía eléctrica, pérdida de calor del cable submarino.

Los cables de potencia que distribuyen energía eléctrica desde una fuente (dispositivo undimotriz), hasta una subestación, presentan un porcentaje de pérdida de energía que se disipa en forma de calor, lo que tal vez podría afectar a los organismos marinos que se encuentren cerca del cable. Este impacto sería provocado por Pelamis y Wave Bob.

- **Elemento ambiental afectado: Bentos.**

La función del cable es transportar la energía desde la fuente de generación hasta el punto de propagación para su utilización, que corresponde a una subestación eléctrica situada en la costa (Figura 29).



Figura 29. Subestación en tierra (referencia). Fuente: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xvi.-las-subestaciones-electricas

Este cable puede estar ubicado enterrado (soterrado) en el fondo del mar o estar por sobre el fondo marino. Esto depende de los encargados del proyecto y de la evaluación que realicen en el lugar (*e.g.* no es factible soterrar en sustrato rocoso pero si en sustrato blando). El calor que podría llegar a disiparse hace que se reduzcan los niveles de eficiencia. Para este tipo de cables la disipación aproximada sería de 20 w/m el cual podría provocar un cambio de 1°C de temperatura en el lugar en cables sin enterrar (Ellegård *et al.*, 2010), lo que no provocaría cambios en el bentos marino que viva allí o que se asienten en el cable.

No hay estudios que demuestren que esta irradiación de calor afecte el sedimento, lo que sí podría ocurrir son cambios físico-químicos en el sedimento como, alteración del redox, cambios en el oxígeno, cambios en los perfiles sulfuros, perfiles de nutrientes, aumento de la actividad bacteriana, entre otros.

Por otra parte hay autores que resaltan el hecho de que al poner un cable submarino que genere cierto calor provoca la atracción de algunos organismos (como cirripedios, algas, etc) los cuales lo utilizarían para asentarse y formar allí su hogar.

6.10.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es negativo (1). El calor puede ocasionar alteraciones y afectar a los organismos bentónicos más sensibles a cambios de T°;
- Relevancia del impacto es media (5). Si bien el bentos se puede ver afectado por el cambio de temperatura, también puede utilizar el cable como sitio para desplazarse, vivir, etc. Puede más bien verse favorecido por la instalación de dicho cable;
- La intensidad del impacto es baja (1). El bentos no se vería mayormente afectado por el cambio de 1°C de la temperatura del agua, ya que para sucesos climáticos el agua puede tener mayores variaciones de temperatura, si afectar a los organismos marinos;
- La extensión del impacto es (3). Solo se puede ver afectado el bentos que este cerca al cable transportador de energía;

- El desarrollo del impacto es inmediato (10). Desde que comienza a funcionar el dispositivo undimotriz, el cable transportará energía del cual se puede disipar el calor;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). En el momento en que termine de funcionar el dispositivo, ya no habrá más traslado de energía, por lo cual el cable no generará calor.

Tabla 27. La significancia para el efecto del calor provocado por el cable de transmisión en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
-1	5	1	3	10	10	1	-3.95	Negativo poco significativo

En este impacto no se verían afectadas las aves, ya que el calor irradiado no es mayor y estas solo se sumergen un par de segundos para alcanzar su alimento.

6.11 Impacto: Producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies

La instalación de un dispositivo en el ambiente marino puede traer consigo impactos positivos para el ambiente marino. Entre ellos se encuentran: la llegada de peces que se sienten atraídos por estos dispositivos, lo que aumenta la fauna del lugar y mayor pesca cerca de estos dispositivos,

las estructuras sólidas colocadas en el fondo marino (sistemas de anclaje) sirven como asentamiento para algunas especies (*e.g.* cirripedios, algas, anémonas, entre otros). Dispositivos captadores de la energía de las olas podrían atraer a los organismos marinos a través de la adición de sustrato duro para el ecosistema y la formación de arrecifes artificiales (Baine, 2001; Whitmarsh *et al.*, 2008). Además los arrecifes se utilizan como conservación y rehabilitación de los hábitats marinos (Pickering *et al.*, 1998; Jensen, 2002 y Langhamer *et al.*, 2009).

Los arrecifes artificiales pueden albergar comunidades diferentes a los de los arrecifes naturales, y también podría alterar o modificar la diversidad de especies en las zonas cercanas (Connell & Glasby, 1999; Connell, 2001). La colonización de organismos sésiles y móviles es una serie compleja de eventos, influenciada por varios procesos químicos, físicos y biológicos (Roughgarden *et al.*, 1988; Pineda, 1991; Miron *et al.*, 1995; Meng, 2000). Estudios han demostrado que estructuras artificiales en aguas profundas y frías proporcionan nuevos sustratos para la vida de diferentes organismos (*e.g.* peces, crustáceos, algas, entre otros) (Langhamer *et al.*, 2009).

Un ejemplo de arrecifes artificiales lo encontramos en estudios de plataformas de petróleo en el mar, que indican que la biomasa de las comunidades bentónicas está dominado normalmente por grandes consumidores, de larga vida sésiles, incluidos los percebes (*e.g.* *Balanus Tintinnabulum*) y bivalvos (*e.g.* *Chama macerophylla* y *Ostrea spp.*), que actúan como especie de fundación lo que aporta una gran abundancia y diversidad de organismos pequeños móviles en los arrecifes artificiales incluyendo: anfípodos, copépodos, poliquetos, cangrejos y pequeños peces habitan en los arrecifes (Gallaway & Lewbel 1982; Lewbel *et al.*, 1987).

Hay aspectos potencialmente positivos en la creación de hábitat artificiales de fondo duro (sistema de anclaje), mediante la instalación de dispositivos de energía renovable off-shore (Wilhelmsson *et al.*, 2006; Langhamer *et al.*, 2009; Wilson & Elliot, 2009).

La instalación de dispositivos undimotrices aumentará la cantidad de sustrato duro en ambientes costeros y por lo tanto puede tener un impacto significativo (Petersen & Malm, 2006).

6.11.1 Descripción del impacto

6.11.1.1 *Etapa de instalación:*

6.11.1.1.a) Impacto: No se provocará impacto en esta etapa del proyecto, los impactos negativos que puedan ocasionar ya fueron evaluados anteriormente.

6.11.1.2 *Etapa de operación:*

6.11.1.2.a) Impacto: Creación de nuevos sustratos puede atraer y/o beneficiar al Necton.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Necton.**

Los peces se sienten atraídos por estas instalaciones y las utilizarían (sistemas de anclaje) para refugio o para sitios de desove. Un estudio en dos plataformas petroleras (una fuera de servicio y

otra en funcionamiento) demuestran un aumento en la abundancia de peces. Se encontró que las tasas de captura aumentaron rápidamente cerca de las plataformas (una relación lineal entre la tasa de captura y la abundancia de peces se asumió en el estudio) (Løkkeborg *et al.*, 2002). Se ha demostrado que se aumentan tanto la densidad y biomasa de peces respecto a los alrededores de las zonas de fondos blandos y arrecifes naturales incluso locales (Bohnsack *et al.*, 1994; Wilhelmsson *et al.*, 1998; Wilhelmsson & Malm, 2008).

Ejemplos de arrecifes artificiales los encontramos en las plataformas petrolíferas donde se ha demostrado que el aumento en los recursos alimenticios in situ, se cita a menudo como el principal contribuyente a la mayor densidad de peces de importancia comercial, así como una mayor cantidad de necton alrededor de las plataformas (Stone *et al.*, 1979; Gallaway & Lewbel, 1982; Scarborough Bull & Kendall, 1994; Stanley & Wilson, 1996). También según Delgadillo-Garzón & García, 2009, los arrecifes artificiales tuvieron resultados favorables para la comunidad pesquera artesanal del sector, no sin generar igualmente un impacto evidente sobre el recurso, el cual puede ser minimizado con claros parámetros de manejo y con la realización de investigaciones y monitoreos bien planeados.

6.11.2 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es positivo (1). Para algunos organismos del necton (*e.g.* peces) será muy novedoso la instalación del dispositivo lo que los atraerá hacia el sin verse afectado, colonizando el lugar (Langhamer *et al.*, 2009);
- Relevancia del impacto es alta (10). Aumentara la biodiversidad de especies en dicho lugar;

- La intensidad del impacto es alta (10). Hay un grado de alteración favorable para las especies, crecen en número, lo que ayuda a toda la trama trófica que allí se encuentre;
- La extensión del impacto es (4). Este impacto abarcará donde se instale el dispositivo y donde se encuentre el sistema de anclaje;
- El desarrollo del impacto es Inmediato (10). Después de la instalación del dispositivo, puede comenzar a llegar los organismo del necton;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (alrededor de 20 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Después de la instalación del dispositivo y su anclaje, se recolonizará el lugar.

Tabla 28. La significancia para el efecto de producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies en el necton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
1	10	10	4	10	10	1	7	Significativo

6.11.1.2.b) Impacto: Creación de nuevos sustratos aumentaría la población del plancton.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Plancton.**

Los estudios sobre las redes tróficas en ecosistemas de fondos duros han descrito varias vías tróficas posibles y variables para el fitoplancton y las algas asociadas a los arrecifes artificiales. Por ejemplo, las algas que crecen en estructuras duras contribuyen a la dieta de los consumidores cercanos que no habitan en los arrecifes (Kang *et al.*, 2003; Behringer & Butler 2006; Doi *et al.*, 2008), y el fitoplancton o epífitas pueden ser importantes recursos basales a los consumidores dentro de densas camas de macroalgas (Kang *et al.*, 2008; Golléty *et al.*, 2010; Schaal *et al.*, 2010).

6.11.3 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es positivo (1). Esto implica un mejoramiento y recuperación del sistema;
- Relevancia del impacto es alta (10). Los organismos del plancton son fundamentales para la trama trófica marina, y si aumenta la diversidad de especies en el sector de instalación, será beneficioso tanto para este grupo como para los demás;
- La intensidad del impacto es media (5). El aumento del plancton en el lugar puede ser de mediana intensidad, favoreciendo a la comunidad pero no sobrepoblandola;

- La extensión del impacto es (7). El plancton se distribuye a través de toda la columna de agua, lo que abarcaría desde donde está instalado el dispositivo hasta la orilla;
- El desarrollo del impacto es Inmediato (10). De acuerdo a las condiciones que se den en el lugar de instalación, el plancton podría aumentar de población en un corto tiempo (menos de un año);
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Después de la instalación del dispositivo y su anclaje, el sistema vuelve a recuperar su condición basal y puede aumentarla.

Tabla 29. La significancia para el efecto de producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies en el plancton sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
1	10	5	7	10	10	1	6,85	Significativo

6.11.1.2.c) Impacto: Creación de nuevos sustratos para el crecimiento y asentamiento de especies del bentos.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación del dispositivo undimotriz para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- Elemento ambiental afectado: Bentos

Este es un impacto positivo al ambiente marino, que puede ser causado por el dispositivo en sí, su anclaje y el cable de transmisión.

Para el bentos será beneficioso en la parte de anclaje (bloques de concreto u otro material) y por el cable de transmisión, pues estos están ubicados en el fondo marino, lo que es atractivo para las especies que allí habitan, algas, choritos, cirripedios, esponjas, corales etc. Son algunas de las especies que podrían llegar a encontrarse después de un tiempo instalado todo el sistema.

Según el estudio de Langhamer *et al.*, 2009, hay un crecimiento de animales bentónicos cerca de boyas de anclaje, en las cuales los organismos ocupaban pequeños espacios para asentarse.

Un gran volumen de agua tiene el potencial de incidir en ambientes bentónicos, como los arrecifes de coral, creando tensión térmica en los organismos allí habitan (Harrison, 1987). Durante un largo plazo, esto podría conducir a cambios en la comunidad bentónica y, a su vez, a cambios estructurales en el hábitat (Gill *et al.*, 2010).

6.11.4 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es positivo (1). Esto implica un mejoramiento y recuperación del sistema. Se ofrecerá un sustrato para el asentamiento de las especies;

- Relevancia del impacto es alta (10). Mientras más hábitat se encuentren, mayor será la biodiversidad de las especies que allí habiten, siendo favorable para el estado de conservación de los organismos;
- La intensidad del impacto es alta (10). Hay un grado de alteración favorable para las especies bentónicas;
- La extensión del impacto es (4). Solo abarcará donde se instalen los anclajes y el cable de transmisión;
- El desarrollo del impacto es Inmediato (10). Estando los sistemas de anclaje y/o cable en el fondo marino, tarda poco tiempo en que comiencen a ser colonizadas por especies marinas;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Después de la instalación del dispositivo y su anclaje, se generara un nuevo sustrato de asentamiento de especies.

Tabla 30. La significancia para el efecto de producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies en el bentos sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
1	10	10	4	10	10	1	7	Significativo

6.11.1.2.d) Impacto: Instalación de dispositivos atraerá a los peces por lo que las aves se beneficiarían en cuanto a su alimento.

- Obra o actividad del proyecto que causa el impacto: Instalación de dispositivos para la generación de energía eléctrica.

Este impacto sería provocado por los tres dispositivos captadores de la energía de las olas (Pelamis, Wave Bob y Oyster).

- **Elemento ambiental afectado: Aves**

Este impacto las aves se ven favorecidas por la llegada de más peces cerca de la instalación del dispositivo, lo que las atrae donde hay mayor cantidad de alimento.

Con la construcción de nuevas estructuras en el medio marino, se crean sitios de descanso que se utilizan de forma rápida por las aves marinas (Wiese *et al.*, 2001). Con esto se aumentan las zonas de alimentación de ciertas especies y proporcionan sitios de descanso para las aves terrestres migratorias que, normalmente, no pueden aterrizar en el agua.

6.11.5 Evaluación del impacto:

- El carácter del impacto es positivo (1). Las aves se verían beneficiadas en cuanto a la mayor cantidad de alimento en ese lugar, y también lo pueden utilizar como para descansar;

- Relevancia del impacto es media (5). Las aves tienen un estado de conservación importante en Chile, este impacto ayuda al mantenimiento de las aves en el lugar, proporcionándoles mayor disponibilidad de alimento ;
- La intensidad del impacto es media (5). Hay un grado de alteración favorable para las aves marinas;
- La extensión del impacto es (4). Este impacto abarcará donde se instale en dispositivo y alrededores;
- El desarrollo del impacto es Inmediato (10). La incidencia de este impacto se puede manifestar antes del año desde la instalación del el dispositivo en el mar;
- La duración del impacto es largo plazo (10). Este impacto durará mientras funcione el dispositivo (más de 10 años), y;
- La reversibilidad del impacto será inmediata (1). Después de la instalación del dispositivo los peces llegarán atraídos por este y así aumentarán las aves en el lugar.

Tabla 31. La significancia para el efecto de producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies en las aves sería la siguiente:

Ca	RC	In	Ex	De	Du	Re	Sig	Clasificación del impacto
1	5	5	4	10	10	1	4,75	Medianamente Significativo

Impacto	Necton		Plancton		Bentos		Aves	
	Instalación	Operación	Instalación	Operación	Instalación	Operación	Instalación	Operación
1 Electromagnetismo		-5,5		-3,55		-2,95		-4,75
2 Ruido	-4,45	-4,75	-2,75	-2,75	-5,15	-2,75	-4,75	-2,95
3 Contaminación por derrame de hidrocarburos		-5,05		-5,05		-4,45		-4,35
4 Remoción de sedimento	-4,45		-3,05		-7,4			
5 Cambio en el oleaje						-3,6		
6 Limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos		-4,15						-2,55
7 Calor provocado por el cable de transmisión		-2,75		-2,75		-3,95		
8 Producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies		7		6,85		7		4,75

■ Indica que es el impacto con mayor grado de significancia de cada grupo.

■ Indica que es el impacto con menor grado de significancia de cada grupo. ■ Impacto positivo de cada grupo.

Tabla 32. Resumen de los impactos producidos por los dispositivos undimotrices al instalarlos en el mar.

7 DISCUSIÓN

En Chile la necesidad de implementar una solución contra el déficit de energía es primordial, sobre todo si se poseen los recursos necesarios para la extracción de energía limpia y renovable, considerando que se poseen características geográficas idóneas para la generación de electricidad mediante energía marina (aprox. 4.200 km de costa). Esto hace atractivo a nuestro país para la instalación de dispositivos captadores de la energía de las olas (dispositivos undimotriz), teniendo como finalidad reducir la dependencia que tiene el país de los combustibles fósiles (que contribuyen al cambio climático global) y la lluvia (base de energía hidráulica). Así, las olas pueden mitigar el cambio climático y la amenaza que suponen las centrales hidroeléctricas para la biodiversidad y los pueblos originarios.

Existe una alta variabilidad estacional de la energía de las olas (la cual depende de latitud), con un mínimo del 18% en el centro de Chile, contrastándose con el norte y el sur donde los valores bordean el 50% y 30% respectivamente (Monárdez *et al.*, 2008), lo que posibilitaría la instalación de dispositivos undimotrices en nuestras costas para aprovechar este recurso y así generar energía renovable. Con los datos de energía de las olas entregados por informes como el de Baird (2010) entre otros, que demuestran la intensidad de energía generadas por las olas de aumenta de norte a sur, se reducen los sitios donde se podrían llegar a instalar los dispositivos, teniendo en cuenta también otros factores (*e.g.* corrientes, parámetros geográficos, áreas protegidas (Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), Áreas Marinas y Costeras Protegidas (AMCP), Reserva Marina (RM), Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB), Áreas Protegidas Privadas (APP), Sitios Prioritarios (SP) para la

conservación de la biodiversidad, Espacios Costeros Marinos de los Pueblos Originarios (ECMPO); y Áreas Apropriadas para el Ejercicio de la Acuicultura), ubicación de caletas pesqueras, puertos comerciales, zonas donde no hayan prácticas militares o navales, zonas que no sean rutas de navegación o migración, zonas donde no haya presencia de comunidades indígenas, zonas que no sean sitios de patrimonio cultural, entre otros) importantes para le elección del sitio de instalación, por lo cual, la forma más segura de mitigar los potenciales impactos es evitar zonas ambientalmente sensibles.

Con respecto a los dispositivos undimotrices, hay diferencias entre los instalados mar afuera (Off-shore) en este caso Pelamis y Wave Bob y los instalados cercanos a la costa (Near-shore) para este caso Oyster.

Pelamis y Wave Bob se instalan en profundidades mayores a 50 m, (distancias relativas de la costa dependiendo la batimetría del fondo marino), lo que reduce su impacto visual de cualquier punto de la costa. El primero solo se ve 1.68 m por encima de la superficie del agua y la mayor parte del segundo dispositivo está bajo la línea de flotación, por lo cual solo se ve como una boya. Ambos poseen sistemas de amarre diseñado para ocupar un mínimo espacio y poder ser eliminado fácilmente, lo que provocaría un menor impacto en el ambiente marino. Pelamis utiliza un sistema de anclaje que se basa en el ancla de empotramiento, cadenas y correas de sujeción, no incluye pilotes, por tanto se minimiza un impacto al fondo marino. La capacidad de generación de estos dispositivos varía entre los 750 y 1500 kW respectivamente, dependiendo de la potencia y energía de las olas, lo que hace más atractiva su instalación.

La diferencia de Pelamis con los otros dispositivos es que utiliza pequeñas cantidades de líquido de transmisión, lo cual no representa una amenaza para el ambiente marino, y en caso de fuga de fluido hidráulico, el sistema cuenta con un módulo de dos niveles de protección en todos los puntos de fuga.

Al contraste con estos dispositivos, Oyster se instala en profundidades entre los 10 y 12 m y sobresale por encima de la superficie del mar entre 3-5 m, no utiliza sistemas de anclaje ya que está posado sobre el fondo marino lo que traería consigo una pérdida de hábitat donde se instale este dispositivo. Es mucho más grande que los anteriores, por ende puede provocar colisiones con mamíferos y aves marinas. Posee una eficiencia de conversión de 800 Kw provocada por la acción oscilante de las olas contra el convertidor (o 'aleta') impulsa los pistones hidráulicos que bombean agua dulce a presión de nuevo a la costa a través de un sistema de tuberías de bucle cerrado, con esto no hay necesidad de un cable de transmisión de energía lo que favorece a no crear campos electromagnéticos. Según Lewis (2012), Oyster no causa mayor impacto en el ambiente marino, pero al no poseer algún tipo de protección contra el derrame de hidrocarburos se convierte en un potencial riesgo para el necton lo que no favorecería su instalación en el mar.

En este trabajo no se evalúan los dispositivos costeros (On-shore) porque sus áreas de instalación pueden ser especialmente frágiles, presentar una alta productividad biológica o biodiversidad, tener especial valor cultural o ambiental (*e.g* hábitat críticos para especies en categoría de conservación) o ser vulnerables para otro tipo de impactos.

Dentro de los impactos negativos que tienen estos dispositivos undimotrices sobre el necton, el electromagnetismo genera un mayor impacto con un -5,5 que le da un carácter negativo

medianamente significativo. Si bien se generan campos magnéticos por el cable de transmisión submarina, el necton puede detectar dichos campos, y pueden verse atraídos o repelidos por estos (Gill *et al.*, 2005). Los estudios sugieren que las emisiones de corriente alterna de baja frecuencia en el medio ambiente son más propensas a ser detectadas (Kalmijn 1988).

Aun no existe comprobación de cómo los campos magnéticos afectarían a las distintas especies, los resultados sugieren que los elasmobranchios (por su alta sensibilidad a los campos eléctricos inducidos) y los cetáceos (por su alta sensibilidad a los campos magnéticos) tienen las mayores posibilidades de sufrir efectos a causa de los campos magnéticos, pero se cree que los niveles de exposición pudieran ser menores debido a sus hábitos de alojamiento y alta movilidad. Los peces poseen sistemas electro-sensoriales especiales que pueden percibir los campos magnéticos a través electro-recetores, pero en embriones de peces pueden presentar cambios en su ontogénesis, lo que puede afectar su comportamiento (Krylov *et al.*, 2014).

El menor impacto en el necton lo genera el calor provocado por el cable de transmisión con un -2,75 que le otorga un carácter de negativo poco significativo, ya que las emanaciones de calor son bajas y se van disipando a medida que aumenta la distancia del dispositivo a la subestación en tierra. Se espera que los efectos de perturbaciones relacionadas con los cables submarinos sea temporal y localizada (OSPAR commission, 2008). Este impacto generado por los dispositivos Pelamis y Wave Bob no sería de mayor relevancia en el necton marino.

En el plancton la contaminación por derrame de hidrocarburos es el mayor impacto negativo con un -5,05 (negativo medianamente significativo). El riesgo de un derrame de hidrocarburos puede ser perjudicial para los organismos marinos, dependiendo de la naturaleza y la cantidad de

material perdido. Este provocaría que no penetre la luz lo cual puede disminuir la productividad primaria del lugar. Este impacto es el menos probable de ocurrir en los dispositivos off-shore, ya que cuentan con sistemas para prevenir la fuga de líquidos hidráulicos.

El menor impacto lo generan el calor provocado por el cable de transmisión y el ruido con un -2,75 (negativo poco significativo). La distribución del plancton en la columna de agua favorece a que este mas disperso, por ende solo una parte del plancton puede pasar cerca del cable que emite calor, el cual no es mayor y es tolerado por estos organismos según estudios realizados por Bay-Schmith, 2012.

A diferencia de los grupos anteriores, en el bentos el impacto con mayor efecto negativo es la remoción de sedimento con un -7,4 (negativo significativo). El bentos es el componente que se verá afectado mayormente por este tipo de instalaciones, por la remoción de sedimentos para la instalación del cable, provocará que estos pierdan su lugar de hábitat, considerando que muchos de ellos son sésiles o de escasa movilidad. Cuando se complete la instalación y se acabe la perturbación, se supone que las zonas afectadas se deben recolonizar por los mismos organismo del sustrato y los hábitat se restauren a un estado similar al que estaba antes de ser perturbado, la incertidumbre queda en el impacto indirecto de la circulación del agua, ya que puede ser más extensa y de larga duración (Margheritini *et al.*, 2012).

Se cree que los organismos de la macrofauna son buenos indicadores de los cambios ambientales debido a su poca o nula movilidad y su contribución a la mayor parte de la estructura de los hábitats de sedimentos suaves en el fondo del mar (Reynoldson *et al.*, 1993; Langhamer *et al.*, 2010). Gill (2010) señala que el grado de infauna influenciada depende de la intensidad de la

perturbación y la fuerza de resistencia que tengan estos organismos a los cambios en el sedimento. Los efectos que se producen durante la instalación de los dispositivos son generalmente temporales y su importancia es proporcional a la cantidad y el tipo de sustrato inferior perturbado (Margheritini *et al.*, 2012).

El menor impacto en el bentos es el ruido con un -2,75 (negativo poco significativo). No hay muchos estudios que demuestren que impacto puede tener el ruido submarino en el bentos, al igual que en los demás organismos esto no afectaría de mayor manera al bentos. El ruido del funcionamiento de cualquiera de estas instalaciones, es poco probable que sea de importancia ecológica, y hay muy poca información sobre los niveles de ruido producidos por la operación de los dispositivos captadores de la energía de las olas (Frid *et al.*, 2012). También hay muy pocos (si los hay) dirigido estudios sobre la respuesta de los peces y los mamíferos marinos a los ruidos y vibraciones producidos por operaciones (DFO, 2009).

Con respecto a las aves los impactos con mayor relevancia son el electromagnetismo y ruido con un -4,75 (negativo medianamente significativo). Al zambullirse las aves podrían verse afectadas las por el electromagnetismo del cable submarino, si es que pasan cerca. El ruido durante la instalación podría tener un impacto en las aves marinas, mientras que bajo el agua, haciendo que se desorientarse y que afectan a su éxito de forrajeo. Impactos fisiológicos podrían resultar en daños a la audición temporal o permanente. Las principales fuentes de ruido durante la instalación están enviando maquinaria, el dragado y la trilla. Es evidente por el comportamiento de las aves en la tierra que tienen oído agudo. Sin embargo, poco se sabe acerca de la importancia

de escuchar bajo el agua y si el ruido puede desorientar a las aves o afectar negativamente a su éxito de forrajeo (Scottish Marine Renewables, Environmental Report).

El impacto que tiene menor efecto es la limitación al desplazamiento y migración de los organismos marinos con un -2,55 (negativo poco significativo). No hay datos sobre choques de aves cuando buscan alimento bajo el agua, tampoco mientras se instala el dispositivo. Hay un poco o nulo riesgo de colisión para las aves (Scottish Marine Renewables, Environmental Report). Este impacto no sería un inconveniente para las aves, no afectaría su desplazamiento ni sus migraciones.

Producción de nuevos sustratos (creación de arrecife artificial) para el crecimiento y asentamiento de especies es un impacto positivo y generará un carácter de 7 (significativo) para necton y bentos. Estructuras artificiales colocadas en el fondo del mar atraen a muchos organismos marinos (Inger et al., 2009). Los estudios de Langhamer & Wilhelmsson (2009) concluyen que los organismos marinos se sienten atraídos por estas estructuras y las recolonizan, sirviéndoles como refugio ante otros depredadores. Las especies que mayormente se encuentran en estas estructuras son parte del necton (peces en su mayoría) y parte del bentos (*e.g.* cangrejos, langostas, moluscos, entre otros).

La colonización de epibiota en los arrecifes artificiales es influenciada por varios factores, tales como la edad, la textura, la profundidad, la complejidad, la inclinación y la posición en la columna de agua (Connell & Glasby, 1999; Svane & Petersen, 2001; Perkol-Finkel *et al.*, 2006).

Conjuntos de invertebrados y peces muestran una mayor abundancia en torno a las estructuras artificiales en comparación con las zonas circundantes (Langhamer *et al.*, 2009).

El valor más bajo de significancia fue de 4,75 (medianamente significativo) para las aves. Dispositivos de energía de las olas probablemente representen un menor riesgo para las aves marinas que las turbinas de mareas, los parques eólicos marinos y otras formas de captación de energía (Furnes et al., 2012).

Si bien todos los impactos pueden generar algún cambio en los grupos funcionales del ambiente marino, este es mínimo en consideración con otras fuentes de generación de energía renovable (mareomotriz, parques eólicos, entre otros) (Energía marina en Chile, 2010). Han sido pocas las energías renovables marinas probadas a escala completa, lo que hace difícil resolver las incertidumbres sobre sus efectos en el ambiente marino, pero si hay elementos comunes en las pocas evaluaciones que se han hecho sobre los impactos que estas tecnologías podrían generar (Report to Congress on the Potential Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Energy Technologies, 2009), las que incluyen alteración de las corrientes y las olas, alteración del sustrato y transporte de sedimentos (también su deposición), alteración de los hábitat de los organismos bentónicos, el ruido generado en las etapas de instalación y operación, el electromagnetismo entre otros.

Las diferencias de instalación de los dispositivos, la cantidad de energía generada, su impacto al ambiente marino y sus diferencias de peso hacen de Pelamis el dispositivo más apto para su instalación en el ambiente marino de nuestro país ya que con sus características antes descritas sería el dispositivo que menos afecta (o el que menos impacto causaría) a los organismos marinos evaluados.

El desarrollo de esta alternativa de generación de energía renovable no convencional, sería una buena alternativa para Chile, sobre todo para la costa Centro-Sur, pues se abastecería de energía a más bajo costo (al ser renovable). Pese a que se genera un impacto o una alteración al ambiente marino este es mínimo, comparado con el impacto de termoeléctricas, hidroeléctricas y otras fuentes de generación de energía convencional. Los organismos marinos se pueden adaptar a las instalaciones y también verse favorecidas de ellas.

Si bien se analizó la parte biológica en esta tesis, no podemos dejar de mencionar que no se tomaron en cuenta dos factores importantes (pero que no forman parte de los objetivos de esta tesis) al momento de hacer una evaluación ambiental que son: el entorno físico-químico (salinidad, temperatura del agua, calidad del agua, altura de la ola, deriva litoral, arrastre de sedimentos, entre otros aspectos oceanográficos) y el entorno socioeconómico (aspectos sociales, turísticos y actividades económicas de las comunidades humanas).

8 CONCLUSIÓN

- Chile posee las características idóneas (vientos, oleaje, entre otros) para la instalación de dispositivos undimotrices en la costa Centro-Sur.
- Los dispositivos undimotrices generarían alteraciones ambientales de menor escala, viéndose el Necton mayor perjudicado por estas instalaciones.
- Se necesitan estudios complejos (migraciones, ruido, electromagnetismo, entre otros) en mamíferos marinos, que potencialmente serían los más afectados por la instalación de estos dispositivos.
- Si bien en los impactos generados hay una pérdida de organismos bentónicos esto se compensa con la creación de arrecifes artificiales que favorecen la diversidad de especies del ambiente marino.
- Se necesitan los estudios necesarios para la instalación de los dispositivos undimotrices en la costa Centro- Sur de Chile como: estudios de geológicos, de batimetría (fondo marino), estudios de ruido en el mar a los diferentes grupos funcionales, estudio de aves marinas, estudio de olas, estudio de corrientes, estudio de marea, estudio de los vientos, estudio arqueológico, estudio de paisaje y turismo, estudio marino (el que exige la Directemar), estudio de comunidades, PAS 96 (Informe Agrológico) y PAS 102 (Plan de manejo forestal).

- Se requiere disponer de una planta piloto instalada en un lugar apto para la generación undimotriz, así optimizar el funcionamiento de estos dispositivos y corroborar los impactos que pueden producir. Esta debería funcionar al menos 2 años de prueba.
- Dada la experiencia en numerosos países europeos se demuestra que la energía undimotriz tiene, como todas, cierto impacto al medio ambiente, éste es mínimo (en comparación con otras fuentes de energía) y favorece ampliamente a segmentos importantes de la población, reduciendo además los costos de producción y distribución de energía.
- De todos los tipos de energía marina, la undimotriz se encuentra actualmente en una fase de avance y desarrollo más importante a nivel mundial, lo cual se ve reflejado en la cantidad de tecnologías y patentes existentes para este tipo de producción energética. En Chile, ya hay estudios y proyectos de empresas privadas para comenzar con este tipo de generación de energía.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Austin, M., Chorney, N., Ferguson, J., Leary, D., O'Neill C. & H. Sneddon (2009). Assessment of Underwater Noise Generated by Wave Energy Devices. Tech Report prepared for Oregon Wave Energy Trust. 58 pp.
- Anónimos (2008). Aporte potencial de: Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica, 2008-2025, Programa de Estudios e Investigaciones en Energía del Instituto de Asuntos Públicos de la Universidad de Chile & Núcleo Milenio de Electrónica Industrial y Mecatrónica, Centro de Innovación en Energía de la Universidad Técnica Federico Santa María. 84 p.
- Behringer, D.C., & Butler IV, M.J. (2006). Stable isotope analysis of production and trophic relationships in a tropical marine hard-bottom community. *Oecologia*, 148(2), 334-341.
- Boehlert, G.W., McMurray, G.R. & Tortorici, C.E. (eds.). (2008). Ecological Effects of Wave Energy Development in the Pacific Northwest. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-92. 174 p.
- Bohnsack, J.A., Harper, D.E., McClellan, D.B. & Hulsbeck, M. (1994) Effects of reef size on colonisation and assemblage structure of fishes at artificial reefs off south-eastern Florida, USA. *Bulletin of Marine Science*, 55, 796–823.
- Botello, A., Villanueva, S. & García, L. (2006). Los derrames de petróleo en el ambiente marino. En: *Especies, espacio y riesgos, monitoreo para la conservación de la biodiversidad*: 173-180.

- Castile, B.D., "Reverberation from Plankton at 330 kHz in the Western Pacific", J. Acoust. Soc. Am. 58, 972-976 (1975).
- Connell, S.D. & Glasby, T.M. (1999). Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. *Marine Environmental Research*, 47(4), 373-387.
- Comité de Inversiones Extranjeras (CIE) (2011). Chile, oportunidades en energía. Ministerio de Economía, Ministerio de Hacienda, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Planificación & Banco Central de Chile. Primera edición, Santiago, 54 pp.
- Das Neves, R. & Chandare, S. (2010). Caracterización del recurso undimotriz en el litoral marítimo Argentino. Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco", Chubut, Argentina. 10 pp. Disponible en:
www.apiperu.com/argentina/trabajos/ECC_049_Guerreiro_Ricardo_das_Neves.pdf.
- Delgadillo-Garzón, O. & García, C.B. (2009). Impacto de dos arrecifes artificiales en la pesca artesanal diurna del Golfo de Morrosquillo, Caribe de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 993-1007.
- DIRECTEMAR (2002). Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental Acuático de Jurisdicción Nacional para Proyectos que contemplan "Descargar de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros."
- Doi, H., Chang, K.H., Obayashi, Y., Yoshihara, M., Shime, M., Yamamoto, T., Nishibe, Y. & Nakano, S.I. (2008). Attached microalgae contribute to planktonic food webs in bays with fish and pearl oyster farms. *Marine Ecology-Progress Series*, 353, 107.

- Dong-Energy & Vattenfall-A/S, (2006). Review Report 2005. The Danish Offshore Wind Farm Demonstration Project: Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farm Environmental impact assessment and monitoring. Report prepared by DONG Energy and Vattenfall A/S for: The Environmental Group of the Danish Offshore Wind Farm Demonstration Projects. 150 pp.
- Energía Marina en Chile. Avanzando en el desarrollo del recurso Chileno. Disponible en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/207869/Marine_Energy_Report_-_ESPA_OL.pdf.
- Energías Renovables no Convencionales para Generación Eléctrica Conectada a Red. CNE, Comisión Nacional de Energía.
- Ellegård, A., Bergsten, P., Nissen, J. & Lasse, J. (2010). Description of environmental impacts, preliminary development plan of the Aysén, HVDC submarine link. Vattenfall power consultant. 70pp.
- Fernández, Pedro. (2002). Energía de las Olas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria. Santander, España.
Disponible en: <http://es.libros.redsauce.net/index.php?folderID=1>
- Frid, C., Andonegi, E., Depestele, J., Judd, A., Rihan, D., Rogers, S. I., & Kenchington, E. (2012). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 133-139.G
- Furness, R.W., Wade, H.M., Robbins, A.M.C. & Masden, E.A. (2012). Assessing the sensitivity of seabird populations to adverse effects from tidal stream turbines and wave energy devices. – *ICES Journal of Marine Science*, 69: 1466–1479.

- Gallaway, B.J. & Lewbel, G.S. (1982). The ecology of petroleum platforms in the northwestern Gulf of Mexico: a community profile. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Services Program FWS/OBS-82/27.
- Grecian, W.J., Inger, R., Attrill, M.J., Bearhop, S., Godley, B.J., Witt, M.J. & Votier, S.C. (2010). Potential impacts of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds. *The international Journal of Avian Science. Ibis* (2010), 152, 683-697.
- Gray, J.S. & Elliot, M. (2009). *Ecology of marine sediments*. Second Edition. Oxford University Press. i-xiii. 225 pp.
- Greenlaw, C. F. (1979). "Acoustical Estimation of Zooplankton Populations," *Limnol. Oceanogr.* 24, 226-242.
- Gibbons, M.J., Spiridinov, V. & Tarling, G. (1999). Euphausiacea. En: D. Boltovskoy (ed.). *South Atlantic Zooplankton*. Backhyus Publishers, Leiden, pp. 1241-1279.
- Gill, A.B. & Kimber, J.A. (2005). The potential for cooperative management of elasmobranchs and offshore renewable energy development in UK waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85(05), 1075-1081.
- Golléty, C., Riera, P. & Davoult, D. (2010). Complexity of the food web structure of the *Ascophyllum nodosum* zone evidenced by a $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ study. *Journal of Sea Research* 64:304–312.
- Hucke-Gaete, R., Viddi, F., & Bello, M. (2006). Conservación marina en el sur de Chile: la importancia de la región Chiloé-Corcovado para las ballenas azules, la diversidad biológica y el desarrollo sustentable. Centro Ballena Azul.

- Huertas-Olivares, C., Patricio, S., Neumann, F. & Sarmiento, A. (2006). "Impacto Ambiental de la Energia das Ondas", Congresso Ibérico sobre Gestão e Planificação das Águas.
- Huertas-Olivares, C., Patricio, S., Neumann, F. & Sarmiento, A. (2006). "Renewable Wave Energy. Making it Sustainable", Communications to the International Conference on Renewable Energies and Water Technologies. CIERTA 2006. Vol II. EMI 91-96. Almeria, Spain.
- Hutchinson, G. (1961). The paradox of the plankton. *American Naturalist* 95, 137-145.
- Inger, R., Attrill, M.J., Bearhop, S., Broderick, A.C., James Grecian, W., Hodgson, D.J., Mills, C., Sheehan, E., Votier, S.C., Witt, M.J. & Godley, B.J. (2009). Marine renewable energy: potential benefits to biodiversity? An urgent call for research. *Journal of Applied Ecology*, 46(6), 1145-1153.
- Iriarte, A. (1999). Marco legal relativo a la conservación y uso sustentable de aves, mamíferos y reptiles marinos en Chile. *Estudios Oceanológicos* 18: 5-12.
- Jensen, A.C. (2002). Artificial reefs of Europe: perspective and future. *ICES Journal of Marine Science* 59, 3–13.
- Johnson, A., Salvador, G., Kenney, J., Robbins, J., Kraus, S., Landry, S., & Clapham, P. (2005). Fishing gear involved in entanglements of right and humpback whales. *Marine Mammal Science*, 21(4), 635-645.
- Kang, C.K., Choy, E.J., Son, Y., Lee, J.Y., Kim, J.K., Kim, Y., & Lee, K.S. (2008). Food web structure of a restored macroalgal bed in the eastern Korean peninsula determined by C and N stable isotope analyses. *Marine Biology*, 153(6), 1181-1198.

- Kang, C.K., Kim, J.B., Lee, K.S., Kim, J.B., Lee, P.Y., & Hong, J.S. (2003). Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 259, 79-92.
- Kalmijn, A.J. (1988) Detection of weak electric fields. *Sensory Biology of Aquatic Animals* (eds J. Atema, R.R. Fay, A.N. Popper & W.N. Tavolga), pp. 151–186. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Krylov, V.V., Izyumov, Y.G., Izvekov, E.I., & Nepomnyashchikh, V.A. (2014). Magnetic fields and fish behavior. *Biology Bulletin Reviews*, 4(3), 222-231.
- Langhamer, O., Wilhelmsson, D. & Engström, J. (2009). Artificial reef effect and fouling impacts on offshore wave power foundations and buoys – a pilot study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 82 (2009) 426–432.
- Levin, M. & Ernst, S. (1994). Applied AC and DC Magnetic Fields Cause Alterations in the Mitotic Cycle of Early Sea Urchin Embryos. *Bioelectro-magnetics* 16(4):231 – 240.
- Løkkeborg, S., Humborstad, O.B., Jørgensen, T., Vold Soldal, A. (2002) Spatio-temporal variations in gillnet catch rates in the vicinity of North Sea oil platforms. ICES. *Journal of Marine Science*, 59, S294-S299.
- Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K. & Tyack, P. (2006). Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 309: 279–295.
- Margheritini, L., Hansen, A.M. & Frigaard, P. (2012). A method for EIA scoping of wave energy converters—based on classification of the used technology. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 33-44.

- Merck, T. & Wasserthal, R. (2009). Assessment of the environmental impacts of cables. Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR Convention). 19 pp.
- Michel, J., Dunagan, H., Boring, C., Healy, E., Evans, W., Dean, J.M., McGillis, A. & Hain, J. (2007). Worldwide Synthesis and Analysis of Existing Information Regarding Environmental Effects of Alternative Energy Uses on the Outer Continental Shelf. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Herndon, VA, MMS OCS Report 2007-038. 254 pp.
- Monárdez, P., Acuña, H. & Scott, D. (2008). Evaluation of the potential or wave energy in Chile. Baird & Associates S.A. OMAE 2008-57887. 9 pp.
- Morales, N. (2001). Informe final. Contrato Sta-118.11. Estudio de campos eléctricos y magnéticos para el proyecto sistema de transmisión Aysén. 139 pp.
- Normandeau, Exponent, T. Tricas & Gill, A. (2011). Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Regulation, and Enforcement, Pacific OCS Region, Camarillo, CA. OCS Study BOEMRE 2011-09.
- Office of Naval Research (ONR) (2003). Proposed Wave Energy Technology Project. Environment assessment. Marine Corps Base Hawaii, Kaneohe Bay. Department of the Navy, Hawaii, 130 pp.
- Ormazábal, C. (2002). Manual para la elaboración de estudios de impacto ambiental. Guía práctica. Editorial Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnología, Escuela de Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. 363 O73m 2002.

- Ospar Commission, (2008). Background Document on potential problems associated with power cables other than those for oil and gas activities. *Biodiversity Series*, 370, 2008.
- Palma, R., Jiménez, G., & Alarcón, I. (2009). Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno. Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ) Comisión Nacional de Energía (CNE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Santiago, 124 pp. Disponible en:
<http://www.giz.de/Themen/de/SID-BF641480-74166A51/dokumente/sp-ERNC-mercado-electrico-chileno.pdf>.
- Patricio, S., Moura, A. & Simas, T. (2009). Wave Energy and Underwater Noise: State of Art and Uncertainties. Wave energy centre. Lisbon, Portugal. 5 pp.
- Patricio, S., Soares, C. & Sarmiento, A. (2009). Underwater Noise Modelling of Wave Energy Devices. Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference EWTEC 2009 - 7-10 September, Uppsala, Sweden.
- Pelissero, M., Haim, P., Oliveto, G., Galia, F. & Tula, R. (2011). Aprovechamiento de la Energía Undimotriz. Departamento de Ingeniería mecánica, Universidad tecnológica nacional. Buenos Aires, Argentina. 19 pp Disponible en:
<http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/archivos/Revista-Proyecciones-2011-Undimotriz.pdf>.
- Perkol-Finkel, S., Shashar, N. & Benayahu, Y. (2006). Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. *Marine environmental research*, 61(2), 121-135.

- Pickering, H., Whitmarsh, D. & Jensen, A. (1998). Artificial reefs as a tool to aid rehabilitation of coastal ecosystems: investigating the potential. *Marine Pollution Bulletin* 37, 505–514.
- Ranz, C. (2008). Parques Eólicos Off-shore. Factores que determinan, en el mar, su impacto acústico medioambiental. Instituto de Acústica-CSIC. 26 pp.
- Reynoldson, T.B. & Day, K.E. (1993) Freshwater Sediments, in: P. Calow (Ed.), *Handbook of Ecotoxicology*, Blackwell Science Publication, Oxford, 1993, pp. 83–100.
- Richardson, W.J., Greene Jr, C.R., Malme, C.I. & Thomson, D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise*, Academic Press, San Diego, CA. 576.
- Sarmiento, A. (2008). Wave and Tidal Technologies for Power Generation, wave Energy Center.
- Scarborough Bull, A., & J.J. Kendall Jr. (1994). An indication of the process: offshore platforms as artificial reefs in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 55:1086–1098.
- Schaal, G., Riera, P. & Leroux, C. (2010). Trophic ecology in a northern Brittany (Batz Island, France) kelp (*Laminaria digitata*) forest, as investigated through stable isotopes and chemical assays. *Journal of Sea Research* 63:24–35.
- Schlemmer, K., Fuchshumer, F., Böhmer, N., Costello, R. & Villegas, C. (2011). Design and control of a hydraulic power take-off for an axi-symmetric heaving point absorber. In *Proceedings of the Nineth European Wave and Tidal Energy Conference, Southampton*. 16 pp.

- Schneider, S.H., Easterling, W.E. & Mearns, L.O. (2000). Adaptation: Sensitivity to natural variability, agent assumptions, and dynamic climatic changes. *Climatic Change* 45: 203–221.
- Stanley, D.R., & C.A. Wilson (1996). Abundance of fishes associated with a petroleum platform as measured with dual-beam hydroacoustics. *ICES Journal of Marine Science* 53:473–475.
- Svane, I. B., & Petersen, J. K. (2001). On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review. *Marine Ecology*, 22(3), 169-188.
- Stone, R.B., Pratt, H.L., Parker Jr., R.O. & Davis, G.E. (1979). A comparison of fish populations on an artificial and natural reef in the Florida Keys. U.S. National Marine Fisheries Service Marine Fisheries Review 41 (9):1–11.
- Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R. & Piper W. (2006). Effects of Offshore Wind Farm Noise on Marine Mammals and Fish. COWRIE Report.
- Thorpe, T. (1999). A Brief Review of wave energy. Publicado para UK Departament of Trade and Industry 200 pp.
- Wave Energy Technology Project, Marine Corps base Hawaii, Kaneohe Bay, Hawaii. January 2003.
- Vining, J. (2005). Ocean Wave Energy Conversion. University of Wisconsin Madison. Dec.
- Wilber, D.H. & Clarke D.G. (1998). Estimating secondary production and benthic consumption in monitoring studies: A case study of the impacts of dredged material disposal in Galveston Bay, Texas. Vol. 21, No. 2, 230-245pp.

- Wilhelmsson, D. & Malm, T. (2008) Fouling assemblages on offshore wind power plants and adjacent substrata. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 79,459–466.
- Wilhelmsson, D., Öhman, M.C., Ståhl, H. & Shlesinger, Y. (1998) Artificial reefs and dive ecotourism in Eilat, Israel. *Ambio*, 27, 764–766.
- Wilson, B., Batty, R.S., Daunt, F. & Carter, C. (2006). Collision risks between marine renewable energy devices and mammals, fish and diving birds. Report to the Scottish Executive. Scottish Association for Marine Science, Oban, Scotland, PA37 1QA.

Referencia electrónica:

- **CNE:** Pagina de la Comisión Nacional de Energía en la que podemos encontrar información sobre la tramitación ambiental en Chile de proyectos de generación de energía eléctrica con ERNC, las leyes que rigen el sistema eléctrico chileno (en especial la ley 19.657 que es la que fomenta las ERNC) e información acerca de los distintos proyectos actuales de ERNC (ordenados por grado de avance).
www.cne.cl/fuentes_energeticas/f_renovables.html
- www.eclac.org/drni/noticias/noticias/1/28921/Christian_Santana.pdf
- **CDEC SIC:** www.cdec-sic.cl/index_en.php
- <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>
- **Baywind energy cooperative:** Página de la cooperativa Baywind, la que es todo un ejemplo en el caso de participación ciudadana en proyectos de ERNC.
- www.baywind.co.uk

- Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA) (2014). Referencia electrónica disponible en:

<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php>). Fecha de consulta, febrero de 2014

- **Universidad de Cantabria:** Energía mareomotriz

personales.ya.com/universal/TermoWeb/EnergiasAlternativas/mar/PDFs/1MAREAS.pdf
usinfo.state.gov/journals/ites/0706/ijes/eckhart.htm

- **EMOL:** ¿Qué tan viable es el desarrollo de las energías alternativas en Chile?

www.chilenoticias.cl/Comunicaciones_INFOR/Archivo_Noticias/2007/Enero2007/Noticias/08_01_quetan.htm

- www.jmarcano.com/nociones/fresh2.html

- www.cne.cl/energias/electricidad/sistemas-electricos

- http://www.cethus.org/mar_limpio/impacto_s4.html

- http://www.bbc.co.uk/mundo/internacional/2010/04/100428_derrame_petroleo_claves_lp.shtml

ANEXO

ANEXO X

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE
IMPACTO AMBIENTAL**

ANEXO X

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

X1. METODOLOGÍA

A continuación se describe cada una de los criterios que se toma en cuenta para la valoración de los impactos potenciales del proyecto y se entregan dos ejemplos de aplicación de cada uno de éstos.

X1.1 Carácter (Ca)

Este criterio indica si un impacto es benéfico o dañino para el componente ambiental receptor. Se califica en:

- Positivo (+1): impacto que implica un mejoramiento o recuperación respecto de la condición basal; y
- Negativo (-1): impacto que implica un deterioro respecto de la condición basal.

X1.2 Relevancia del componente (RC)

Este criterio analiza la relevancia de los componentes ambientales en función de su valor ambiental (VA). Este valor integra una serie de criterios dependiendo del componente analizado, entre los cuales se cuenta: la relevancia para otros componentes y para el medio ambiente; la representatividad a nivel local y regional; la abundancia; el estado de conservación; entre otros:

- Baja (1): cuando el componente tiene una pobre calidad basal; no es relevante para otros componentes; no está protegido; y es muy abundante;
- Media (5): cuando el componente tiene una calidad basal media; es relativamente importante para otros componentes; está amenazado; y es poco abundante, pero no escaso; y
- Alta (10): cuando el componente tiene una alta calidad basal, es relevante para otros componentes, está protegido y es escaso.

X1.3 Intensidad (In)

Este criterio refleja el grado de alteración de una variable a causa de una acción del proyecto, independientemente de la extensión geográfica del impacto. Se califica en:

- Baja (1): cuando el grado de alteración es pequeño y la condición original del componente prácticamente se mantiene;
- Media (5): cuando el grado de alteración implica cambios notorios con respecto a la condición basal, pero dentro de rangos aceptables; y
- Alta (10): cuando el grado de alteración de la condición basal es significativa.

X1.4 Extensión (Ex)

Este parámetro define la magnitud del área afectada por el impacto. Es decir, corresponde al porcentaje del área total del componente en el área de influencia que será impactado. Puede ser:

- 1: cuando influye en menos del 10% del área de influencia del elemento o componente;
- 2: cuando influye en más del 10% y menos del 20% del área de influencia del elemento o componente;
- 3: cuando influye en más del 20% y menos del 30% del área de influencia del elemento o componente;
- 4: cuando influye en más del 30% y menos del 40% del área de influencia del elemento o componente;
- 5: cuando influye en más del 40% y menos del 50% del área de influencia del elemento o componente;
- 6: cuando influye en más del 50% y menos del 60% del área de influencia del elemento o componente;
- 7: cuando influye en más del 60% y menos del 70% del área de influencia del elemento o componente;
- 8: cuando influye en más del 70% y menos del 80% del área de influencia del elemento o componente;
- 9: cuando influye en más del 80% y menos del 90% del área de influencia del elemento o componente; y
- 10: cuando influye en más del 90% y menos del 100% del área de influencia del elemento o componente.

X1.5 Desarrollo (De)

Este criterio se refiere al tiempo en que el impacto tarda en desarrollarse completamente, es decir, califica la forma como evoluciona el impacto, desde que se inicia y se manifiesta, hasta que se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. Puede ser de:

- Largo plazo (1): aquel cuya incidencia puede manifestarse en más de 10 años;
- Mediano plazo (4): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de 10 años y más de cinco años;
- Corto plazo (7): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de cinco años y más de un año; y
- Inmediato (10): aquel cuya incidencia puede manifestarse en menos de un año.

X1.6 Duración (Du)

Este criterio se refiere al período durante el cual se produce el impacto. Se califica en:

- Inmediato (1): aquel cuyo efecto dura un año o menos;
- Corto Plazo (4): aquel cuyo efecto dura entre uno y cinco años;
- Mediano Plazo (7): aquel cuyo efecto dura entre cinco y 10 años; y
- Largo Plazo (10): aquel cuyo efecto dura más de 10 años.

X1.7 Reversibilidad (Re)

Este criterio indica la posibilidad que el componente ambiental afectado recupere su condición basal, ya sea naturalmente o por acción antrópica. Se califica en:

- Reversibilidad inmediata (1): aquel en que la alteración prevista, recupera su condición basal inmediatamente después que cesa la actividad que genera el impacto;
- Reversible (4): aquel en que la alteración prevista, puede ser asimilada por el entorno en menos de 10 años, debido al funcionamiento de los procesos naturales o mediante acciones correctoras;
- Recuperable (7): aquel en que la alteración prevista, puede ser asimilada por el entorno en más de 10 años, debido al funcionamiento de los procesos naturales o mediante acciones correctoras; e

- Irreversible (10): impacto que no se revierte en forma natural después de terminada la acción que lo genera, y tampoco mediante acciones correctoras.

X1.8 Magnitud (Ma)

La magnitud de un impacto se califica a partir de los cinco criterios mencionados precedentemente, la intensidad, la extensión, el desarrollo, la periodicidad y la reversibilidad de la alteración. La magnitud de la alteración queda determinada por la suma ponderada de las calificaciones de los cinco criterios, en un rango de 0,1 (magnitud mínima) a 1 (magnitud máxima).

La magnitud se calcula empleando la siguiente expresión matemática:

$$Ma = RC * W_{RC} + In * W_I + EX * W_E + De * W_D + Du * W_{Du} + Re * W_R$$

Donde W_I , W_{RC} , W_E , W_D , W_{Du} y W_R corresponden a los factores de peso o importancia de los criterios, los cuales fueron estimados en base a la importancia que le da el evaluador a cada uno de los criterios. A continuación se presentan los pesos asignados a cada uno de los factores de importancia.

W_{RC} : 0,30

W_I : 0,15

W_E : 0,20

W_D : 0,05

W_{Du} : 0,10

W_R : 0,20

X1.9 Importancia (Im)

Este criterio se deduce mediante la siguiente expresión matemática:

$$I_m = C_a \cdot M_a$$

Valoración

Para los fines de la valoración de la importancia del impacto, cada uno de ellos se clasificará de acuerdo al puntaje obtenido en alguna de las cuatro categorías de importancia que se indican en el Tabla X.1.

Tabla X.1 Escala de valoración de los impactos potenciales, de acuerdo a su importancia	
Valor	Importancia
entre 1 y 2,5	No significativo
entre 2,6 y 5,0	Poco significativo
entre 5,1 y 7,5	Significativo
entre 7,6 y 10	Muy significativo

Elaboración: Ingendesa 2010.

X2. EJEMPLO 1: Generación de empleo temporal durante la etapa de construcción de una central hidroeléctrica

A continuación se analiza el impacto de un proyecto de construcción y operación de una central hidroeléctrica que generará 1.000 empleos, durante 5 años para la comuna de Panguipulli, Región de Los Ríos.

Carácter (Ca):

El componente ambiental a evaluar es el empleo, perteneciente a la dimensión socioeconómica. La ejecución del proyecto conlleva la actividad de contratación de personal, la cual es benéfica para el empleo, puesto que genera nuevos puesto de trabajo.

Relevancia del componente (RC)

Para analizar la relevancia del componente, se debe considerar información que permita comparar el componente en el área del proyecto, versus el componente en otras áreas. Por ejemplo, la Encuesta Nacional de Empleo del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) del primer trimestre de 2010, publicada el 30 de abril del 2010. Los resultados de esta encuesta se muestran en la Tabla X2.

Tabla X2 Tasa de desocupación de Chile y sus regiones del primer trimestre de 2010	
Región	% de desocupación
TOTAL NACIONAL	9
Arica y Parinacota	7,7
Tarapacá	6,6
Antofagasta	8,6
Atacama	9,4
Coquimbo	10
Valparaíso	11,1
O'Higgins	6
Maule	7,8
Biobío	9,9
La Araucanía	8,2
Los Ríos	11,1
Los Lagos	7
Aysén	4
Magallanes	4,6
R. Metropolitana	9,4

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 30 de abril de 2010.

Del análisis de la Tabla X2, se puede identificar que el desempleo en el primer trimestre de 2010 alcanzó valores entre 4 y 11,1% y que el promedio nacional es de 9%.

El criterio a utilizar en este caso, es que si la región donde se ubicará el proyecto se encuentra en la media nacional, o con un punto porcentual de diferencia (en este caso, entre 8 y 10%), la Relevancia del Componente es media (5). Si la región donde se ubicará el proyecto presenta valores de desempleo menor en un punto al promedio nacional (en este caso, menores que 8%), la Relevancia del Componente debería ser baja (1). Si por el contrario, el desempleo en la región fuera mayor en más de un punto al promedio nacional, entonces la relevancia del Componente tendría que ser Alta (10).

En el ejemplo analizado, el proyecto se encuentra en la Región de los Ríos, que tiene una tasa de desocupación de 2,1% superior al promedio nacional por lo que la Relevancia del Componente es Alta (10).

Intensidad (In)

Para definir la intensidad del impacto de la generación de empleo en la situación socioeconómica, se establece por ejemplo, el cambio en el quintil¹² de ingreso de los empleados por la remuneración que recibirán en su nuevo puesto de trabajo.

Sin necesidad de definir las remuneraciones que entregará la empresa para los distintos puestos de trabajo, se puede predecir que los niveles de sueldo a recibir por parte de los trabajadores implicarán cambios notorios con respecto a la condición basal, pero dentro de rangos aceptables. Esto, dado que se generarán nuevos puestos de trabajo, por lo que mejorará la situación socioeconómica de las personas a las que se les asigne el empleo. Los empleados mejorarán su situación económica, ya sea porque cambian de empleador (personas que se cambian de un trabajo a otro), o porque pasarán de desempleados a empleados. Por otro lado, las personas que cambian de empleador, también crean vacantes, al dejar sus puestos de trabajo disponibles, y de esta forma aumenta el dinamismo en el empleo.

En base a este análisis, la intensidad del impacto sería Media (5).

Extensión (Ex)

Para definir la extensión del impacto de la generación de empleo en la dimensión socioeconómica de la población, se debe definir cuál será la población que se verá influenciada por este impacto. Por ejemplo, si el área de influencia se determina como la población de la comuna de Panguipulli, y se establece que los puestos de trabajo se ofertarán en un cien por ciento a personas pertenecientes a dicha comuna, la extensión del impacto sería total (10). Esto, puesto que el área de oferta de empleo no se restringiría a una zona de extensión menor al del área de influencia y la totalidad de los puestos de trabajo que se generarán serían para esa zona.

¹² El término quintil es utilizado en economía para caracterizar la distribución del ingreso de una población humana. El quintil de ingreso, se calcula ordenando la población (de una región, país, etc.) desde el individuo más pobre al más adinerado, para luego dividirla en 5 partes de igual número de individuos; con esto se obtienen 5 quintiles ordenados por sus ingresos, donde el primer quintil (o Q1, I quintil) representa la porción de la población más pobre; el segundo quintil (Q2, II quintil), el siguiente nivel y así sucesivamente hasta el quinto quintil (Q5, V quintil), representante de la población más rica.

En el caso que la oferta de empleo se restringiera a una extensión menor al del área de influencia, o los puestos de trabajo que se generarán tuviesen un cupo reservado para la zona menor al 100%, entonces, la extensión del impacto debe ser analizada de acuerdo a la situación más desfavorable de cada uno de estos parámetros.

En el caso del ejemplo, el 20% de los puestos de trabajo serán reservados a la población de la comuna de Panguipulli (100% del área de influencia). En este ejemplo, la extensión del impacto sería del 60%. Es decir, tendría una valoración 2.

Desarrollo (De)

En el ejemplo analizado, se tiene que el impacto de generación de empleo se desarrollará inmediatamente una vez iniciada la construcción de la central y durará toda la etapa de construcción. Sin embargo, dado que la generación de empleo es gradual, probablemente el peak de construcción se alcance, por lo menos, luego de un año de iniciada la construcción. Esto, debe ser analizado en función de la curva de demanda de mano de obra temporal a ser incluida en la descripción de proyecto.

En el ejemplo analizado, el desarrollo del impacto sería de corto plazo (7).

Duración (Du)

En el ejemplo analizado, este criterio debe ser analizado de acuerdo a la duración de construcción de la central, que es cuando se requerirá de la contratación de mano de obra con un promedio de 1.000 puestos de trabajo.

En este caso, la duración del impacto debe ser corto plazo (4), 5 años (60 meses).

Reversibilidad (Re)

Una vez que se haya terminado la construcción de la central, se prescindirá de la mano de obra temporal. Es así como, en lo que respecta al proyecto, se recuperará la condición basal (eliminación de puestos de trabajo adicionales generados) una vez que cese la actividad (construcción de la central) que genera el impacto (empleo).

Por lo tanto, la reversibilidad del impacto es inmediata (1).

Magnitud (Ma)



De acuerdo a la expresión numérica indicada:

$$Ma = RC * W_{RC} + In * W_I + EX * W_E + De * W_D + Du * W_{Du} + Re * W_R$$

$$Ma = 10*0,3 + 5*0,15 + 2*0,20 + 7*0,05 + 4*0,10 + 1*0,20$$

$$Ma = 5,1$$

La Magnitud del impacto es 5,1. Es decir, el impacto es significativo.

Importancia (Im)

Al determinar la importancia del impacto según la siguiente ecuación:

$$Im = Ca \cdot Ma$$

$$Im = +1 * 5,1 = +5,1$$

Tenemos que el impacto de Generación de empleo temporal durante la etapa de construcción de la central hidroeléctrica sería positivo y significativo.

X3. EJEMPLO 2: Disminución de 127 hectáreas de superficie de vegetación arbórea zonal (Bosque siempreverde y caducifolio)

A continuación se analiza el impacto de un proyecto que talará 127 hectáreas de bosque nativo (bosque siempre verde y caducifolio) en la comuna de Panguipulli, Región de Los Ríos.

Carácter (Ca):

El componente ambiental a evaluar es la vegetación y flora terrestre, específicamente el bosque nativo. Este impacto es dañino para el bosque nativo, puesto que el proyecto provocará la pérdida de superficie de este tipo de vegetación. Por lo tanto el carácter de este impacto es negativo (-1).

Relevancia del componente (RC)

El bosque nativo está protegido por la Ley 20.283 sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal y el Reglamento General de la Ley (D.S. N° 93/2009 del MINAGRI). Estas normativas tienen como fin proteger, recuperar y mejorar este recurso forestal. Por otro lado, en el bosque nativo se albergan diversas especies de flora. Por otro lado, esta formación vegetal también es hábitat de especies de fauna catalogada en categorías de conservación según el D.S. 171/07 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Por ejemplo, en este tipo de bosque se encuentra *Campephilus magellanicus* (carpintero negro) y *Pudu pudu* (pudu). Ambas especies están clasificadas como “Vulnerable”.

Dado que el bosque nativo es un recurso protegido y que es relevante para las componentes flora y fauna en categoría de conservación, la Relevancia del Componente es alta (10).

Intensidad (In)

La intervención que se hará al bosque implica la tala rasa de las especies arbóreas y el despeje de los terrenos. Es por esto que se considera que el grado de alteración de la condición basal es significativo. Por ello, la intensidad del impacto es alta (10).

En el caso que la actividad considerara realizar una tala de algunos individuos del bosque, por ejemplo, cortar la copa de los árboles hasta una altura de 4 m, la intensidad sería media (5). En caso que la intervención considerara la tala puntual de algunos individuos de árboles, entonces la intensidad del impacto sería baja (1).

Extensión (Ex)

En el ejemplo que se analiza, las 127 ha de bosques a ser intervenidas se encuentran en los siguientes pisos vegetacionales:

- Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus alpina* y *Dasyphyllum diacanthoides*
- Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus alpina* y *Nothofagus dombeyi*
- Bosque laurifolio templado interior de *Nothofagus dombeyi* y *Eucryphia cordifolia*

Por otro lado, los pisos vegetacionales presentes en la comuna de Panguipulli y su superficie se indican en la Tabla X3.

Tabla X3 Pisos vegetacionales presentes en la comuna de Panguipulli	
PISO	ha
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	72.028,9
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Nothofagus dombeyi</i>	68.419,0
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Araucaria araucana</i>	6.946,5
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Azara alpina</i>	9.528,3
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Drimys andina</i>	23.897,9
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Ribes cucullatum</i>	9.946,0
Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>	45.972,9

Bosque laurifolio templado interior de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Eucryphia cordifolia</i>	36.632,2
Bosque resinoso templado andino de <i>Araucaria araucana</i> y <i>Nothofagus dombeyi</i>	8.513,9
Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Gaultheria phillyreifolia</i>	19.306,3
Total	301.191,9

Fuente: Modificado de Luebert y Pliscoff 2006.

De la Tabla X3, se obtiene que en la comuna de Panguipulli existen 177.080 ha de los pisos vegetacionales a intervenir por el proyecto. Dado que se intervendrán 127 ha, la extensión a afectar expresada en porcentaje corresponde a un 0,07%. Es decir, el valor para la extensión del impacto sería menor al 10% (1).

Desarrollo (De)

El desarrollo del impacto sería inmediato, puesto que éste se inicia y se manifiesta con todas sus consecuencias, inmediatamente una vez que se corta el bosque.

Por lo tanto, el desarrollo del impacto sería inmediato (10).

Duración (Du)

Para evaluar la duración del impacto se debe, en este caso, identificar cuánto tiempo se ocuparán o intervendrán las zonas de bosque a afectar. Por ejemplo, en el caso que se intervengan zonas de bosque por obras temporales, la intervención de bosques sería sólo durante la etapa de construcción (aprox. 5 años), por lo que la duración del impacto sería corto plazo (4). En el caso que la intervención de bosque fuese para la instalación de obras permanentes o zonas de inundación, la duración del impacto sería la misma que la de la etapa de operación (aprox. 50 años), es decir de largo plazo (10).

En el caso que se tengan ambas situaciones, es decir que la intervención de bosque se proyectara tanto para la etapa de construcción como para la etapa de operación, se debe evaluar la peor condición. Es decir, la duración del impacto tendría que ser de largo plazo (10).

En este ejemplo, la duración del impacto sería de largo plazo (10).

Reversibilidad (Re)

En el caso de la pérdida de bosque nativo, este impacto es recuperable con medidas de reparación tales como por ejemplo, la reforestación con especies arbóreas nativas dominantes de los bosques que hayan

sido afectados y mediante el enriquecimiento de la reforestación, agregando especies arbustivas en el interior de la plantación.

De esta forma tenemos que el impacto es recuperable mediante acciones correctoras. Luego, tendremos que identificar en cuánto tiempo se recuperaría el bosque para volver a su condición basal. Por ejemplo, independientemente de las medidas que se tomen para recuperar el bosque intervenido, el impacto sobre el bosque durará más de 10 años. Esto, puesto que el bosque volverá a su condición basal varios años después que haya finalizado la reforestado.

Por lo tanto, este impacto es recuperable (7).

Magnitud (Ma)

De acuerdo a la expresión numérica indicada:

$$Ma = RC * W_{RC} + In * W_I + EX * W_E + De * W_D + Du * W_{Du} + Re * W_R$$

$$Ma = 10*0,3 + 10*0,15 + 1*0,20 + 10*0,05 + 10*0,10 + 7*0,20$$

$$Ma = 7,6$$

La Magnitud del impacto es 7,6. Es decir, el impacto es significativo.

Importancia (Im)



Al determinar la importancia del impacto según la siguiente ecuación:

$$Im = Ca \cdot Ma$$

$$Im = -1 * 7,6 = -7,6$$

Tenemos que el impacto de Disminución de 127 hectáreas de superficie de vegetación arbórea zonal (Bosque siempreverde y caducifolio) sería negativo muy significativo.