UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO- CHILE

MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA BAHÍA DE QUINTERO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE

RAFAEL IGNACIO GAETE ROSALES

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA	:	SRA. MARÍA PILAR GÁRATE CHATEAU
PROFESOR CORREFERENTE	:	SR. CRISTÓBAL FERNÁNDEZ ROBIN
PROFESOR CORREFERENTE	:	SR. CÉSAR SÁEZ NAVARRETE

NOVIEMBRE 2016

Este trabajo va dedicado a mi familia y amigos que estuvieron conmigo a lo largo de este proceso. En especial a mi abuelo Jaime (Q.E.P.D.) por toda tu sabiduría y paciencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Jimena y Rafael por el gran apoyo entregado en este proceso, sin ellos no podría haber cumplido la meta. A mi madre, por la paciencia de aguantar mis malos momentos y sacarme adelante. A mi padre, por su gran apoyo y preocupación.

A mis abuelos: Lilly y Jaime (QEPD), gracias por ser siempre uno de los pilares en ayudarme a crecer, sus sabios consejos, regaloneos y por ser tan valisos en mi vida. María Ester y Rafael, por el apoyo que me brindaron para lograr este objetivo.

A mis hermanas, Macarena y Constanza, por estar conmigo en las buenas y en las malas. Maca, gracias por comprenderme y apoyarme en todos, espero que logres ser la mejor enfermera. Cony, te deseo lo mejor del mundo, eres una gran hermana y ojalá cumplas tus metas y logres sobrevivir al apocalipsis zombie.

A mi polola Cami, desde que te conocí empecé a tener mis objetivos y esperanzas más claras y pude lograr una motivación que me hacía falta para poder realizar este trabajo, eres una gran persona y el amor que me has entregado ha sido maravilloso, muchas gracias.

A mis amigos incondicionales. A Carlitos por los casi 20 años de amistad, y por tu gran lealtad y sabios consejos. A Pato por todo el apoyo y momentos que pasamos en la U, además un afectuoso agradecimiento a su polola Payu, y su hermano Pancho. A Pablo, por todos los momentos cómicos que hemos pasado.

A mis amigos Tanos: Javier, Néstor, Iván, Sofía y Rodz. A Pancho Dall'Orso por sus consejos, apoyo, y por la confianza. A los amigos de la U: Cote, Paula, Clau, Diego, Vale, Teffy, Pipe, Jara, Pescao, Aron, Naty, Alfredo, Pedro y Ricardo. A mis amigos, Seba Ávila, Nacho Opazo, Feña Seguel, Nati Rojas, Dani Saralegui, Feña Cristal y Sofi Soto.

A mis profesores Pilar Gárate por su gran apoyo y motivación, Patricio Rubio por darme las herramientas y conocimientos necesarios, Sandra Véliz por la inmensa ayuda entregada para realizar este gran trabajo.

Al Club Deportivo Universidad Católica por darme alegrías, y hacerme tolorante a la frustración. No me cabe la duda que vendrán mejores tiempos. A The Miz por enseñarme a ser AWESOME, y porque es un triunfador del evento estelar de Wrestlemania 27 y el mejor campeón intercontinental de la historia.

RESUMEN EJECUTIVO

La ciudad de Quintero se considera un área de sacrificio ambiental debido a los altos niveles de contaminación atribuidos a su proximidad con el Parque Industrial de "Ventanas", que contempla dentro de ella: centrales térmicas de carbón de potencia (Ventanas I y II), plantas fundiciones de cobres, plantas de refinería química, compañías de petróleo y de cemento. El propósito de este estudio es evaluar la propuesta del gobierno de la sustitución parcial de las centrales térmicas de carbón existentes por centrales térmicas de gas natural licuado y la propuesta de los autores de la instalación de un parque eólico offshore en relación con su impacto global en la calidad de vida de la comunidad, teniendo en cuenta los impactos tanto positivos como negativos. En este estudio se analiza el recurso eólico de la zona, la batimetría y se lleva a cabo el diseño del parque. Se realiza la evaluación económica privada de este proyecto, considerando como principal objetivo el reemplazo de la generación a base combustibles fósiles, por energía generada por recursos renovables, y la evaluación social costo-beneficio, considerando los fomentos de la utilización de ERNC y sus beneficios sociales. Lo anterior se complementa con una evaluación multi-criterio para la toma de decisiones, es decir los criterios de selección, criterios de ponderación, la evaluación y la puntuación final de alternativas tienen en cuenta la participación activa de la comunidad. Las exposiciones de parques eólicos offshore la mejor puntuación general, aunque sus costes de inversión son más altos que la propuesta del gobierno, lo que demuestra que la percepción de la comunidad y la opinión es relevante en particular en proyectos de alto impacto social. Aunque estos resultados son ilustrativos de la ciudad de Quintero y pueden variar si se realiza en otro lugar, hicieron hincapié en la importancia de considerar el proceso participativo en el diseño de políticas públicas. La Evaluación multi-criterio con la participación activa de la comunidad a través bien definidos encuestas y entrevistas es una metodología apropiada para incorporar la opinión de las personas afectadas por un proyecto en particular, que en la actualidad se requiere para garantizar el éxito de una política pública determinada.

Palabras Clave: Evaluación Multi-criterio, Área de Sacrificio Ambiental, Energías Renovables No Convencionales.

ABSTRACT

The city of Quintero, is considered an area of environmental sacrifice due to the high levels of pollution attributed to its proximity to the Industrial Park of "Ventanas", where coal thermal power plants (Ventanas I and II), copper smelter and refinery plant; chemical, oil and cement companies are located. The purpose of this study is to evaluate government's proposal of replacing partially the existing coal thermal power plants by liquefied Natural gas thermal plants and the proposal of the authors of installing an Offshore wind farm in relation to its overall impact on the quality of life of the community, considering both positive and negative impacts. In this study the wind resource in the area is analyzed, bathymetry and carried out the design of the park. private economic evaluation of this project is done, considering as main goal the replacement of generation fossil fuel base, energy generated by renewable resources, and social cost-benefit evaluation, considering the fomentation of the use of NCRE and its benefits social. This is complemented by a multi-criteria evaluation for decision making, i.e the selection criteria, weighting criteria, evaluation, and the final score for alternatives considers the active participation of the community. The Offshore wind farm exhibits the best general score although its investment costs are higher than government's proposal, showing that community perception and opinion is relevant particularly in project with high social impact. Although these results are illustrative of the city of Quintero and may vary if performed elsewhere, they emphasized the importance to consider participative process when designing public policies. Multi-criteria evaluation with active participation of the community trough well defined surveys and interviews is an appropriate methodology to incorporate the opinion of the people affected by a particular project, which nowadays is required to ensure the success of a particular public policy

Keywords: Multi-criteria Evaluation, Environmental Sacrifice Area, Non-Conventional Renewable Energy.

Índice de Contenidos

1. Introducción **1**

2. Objetivos **4**
2.1. Problemática 4
2.2. Objetivos 6
2.2.1. Objetivo general 6
2.2.2. Objetivos específicos 6

3. Marco Teórico **7**
3.1. Planificación industrial territorial en Chile 7
3.1.1. Regulación industrial 7
3.1.2. Contaminación atmosférica 9
3.1.3. Zonas saturadas 12
3.1.4. Parques industriales 13
3.2. La comuna de Quintero 15
3.2.1. Complejo industrial de Ventanas 16
3.3. Contexto energético de Chile 30
3.4. Proyección energética en Chile 35
3.5. Proyección energética renovable en Chile 40
3.6. Energía eólica offshore a nivel mundial 45
3.7. Energía eólica offshore a nivel nacional 49
3.8. Diseño del parque eólico offshore 50
3.8.1. Viento de altamar 50
3.8.2. Estructura geológica 52
3.8.3. Batimetría 55
3.8.4. Cimentaciones 55
3.8.5. Aerodinámica de un aerogenerador 58
3.8.6. Apantallamientos en el parque eólico offshore 63
3.8.7. Impacto ambiental 65
3.9. Evaluación social del proyecto 70
3.9.1. Clasificación de técnica multicriterio jerárquica 74
3.9.2. Descripción del proceso para la evaluación multicriterio jerárquica 76

4. Metodología **87**
4.1. Diseño del parque . . . 87
4.1.1. Análisis del recurso eólico . . . 87
4.1.2. Configuración del parque . . . 92
4.1.3. Elección de la turbina . . . 96
4.1.4. Cimentaciones . . . 98
4.2. Evaluación económica . . . 99
4.2.1. Datos técnicos del parque eólico offshore . . . 99
4.2.2. Datos de la inversión . . . 99
4.2.3. Datos de financiamiento . . . 101
4.2.4. Datos de ingresos por ventas . . . 102
4.2.5. Datos de gastos anuales . . . 103
4.2.6. Ahorros por desuso de central térmica . . . 105
4.3. Evaluación social . . . 107
4.4. Evaluación social costo - beneficio . . . 108
4.5. Evaluación multicriterio . . . 112
4.5.1. Objetivo de la evaluación . . . 112
4.5.2. Actores involucrados . . . 112
4.5.3. Alternativas de proyectos . . . 113
4.5.4. Selección de criterios . . . 114
4.5.5. Criterios Sociales . . . 114
4.5.6. Criterios Ambientales . . . 116
4.5.7. Criterios Económicos . . . 118
4.5.8. Árbol de Jerarquía . . . 120
4.5.9. Definición de puntuación de los criterios . . . 121
4.5.10. Realización de encuestas . . . 129

5. Análisis de resultados **131**
5.1. Evaluación económica . . . 131
5.1.1. Resultados de evaluación económica . . . 131
5.1.2. Análisis de sensibilidad . . . 131
5.2. Evaluación social . . . 133
5.2.1. Resultados de evaluación social . . . 133
5.3. Evaluación multicriterio . . . 135
5.3.1. Asignación de pesos a los criterios . . . 135
5.3.2. Levantamiento de la información . . . 136
5.3.3. Información para la estimación de los pesos de los criterios . . . 136
5.3.4. Procesamiento de la información y resultados . . . 137
5.3.5. Comparación de alternativas . . . 147
5.3.6. Notas de cada alternativa . . . 157

6. Conclusiones **159**

Bibliografía **167**

A. Anexos **172**
A.1. Formulación de las encuestas 172
A.1.1. Ejemplo de encuesta de evaluación 172
A.1.2. Encuesta de evaluación 174
A.2. Encuesta perfil sociodemográfico del encuestado (a) 179
A.3. Encuesta comparación de alternativas 180
A.3.1. Beneficios Sociales 180
A.3.2. Beneficios Ambientales 180
A.3.3. Beneficios Económicos 181
A.4. Encuesta para la clasificación de beneficios 182

B. Anexos 2 **184**

Índice de Tablas

3.1. Índice ICAP para las concentraciones de MP10 9
3.2. Norma chilena para Calidad Primaria MP10 10
3.3. Índice ICAP para las concentraciones de MP 2,5 10
3.4. Norma chilena para Calidad Primaria MP 2,5 10
3.5. Comparación Emisiones Aire Fijas de Puchuncaví y El Tabo año 2011 . . 22
3.6. Concentración de metales por especies muestreadas 23
3.7. Acontecimientos ocurridos en la Bahía de Quintero 28
3.8. Estados de Proyectos ERNC 42
3.9. Tecnologías de Cimentaciones 57
3.10. Lista de Chequeo de Factores Ambientales 65
3.11. Ejemplo de Matriz de Comparaciones de Criterios 80
3.12. Escala de preferencias propuesta por Thomas Saaty 80

4.1. Configuración del Parque, según Opción 1 93
4.2. Configuración del Parque, según Opción 2 94
4.3. Configuración del Parque, según Opción 3 96
4.4. Comparación de Alternativas de Aerogeneradores 97
4.5. Datos Técnicos del Parque Eólico Offshore 99
4.6. Comparación Costo de Capital entre Onshore y Offshore 100
4.7. Datos de la Inversión del Parque Eólico Offshore 100
4.8. Detalles de la Inversión Total del Parque Eólico Offshore 101
4.9. Detalles de Financiamiento 102
4.10. Pérdidas Asociadas a la generación de energía 102
4.11. Detalles de Ingresos del Proyecto 103
4.12. Detalles de los Gastos Operacionales del Proyecto 104
4.13. Detalles de los Seguros contratados para el Proyecto 104
4.14. Detalles de la Depreciación de Activos para el Proyecto 104
4.15. Detalles del caso base (Central Térmica) 105
4.16. Precio de paridad proyectado para carbón 106
4.17. Lista de Beneficios 107
4.18. Factor de Corrección de Mano de Obra 109
4.19. Valores para la tasa base para diferentes efectos tratados según grupo . . 110

5.1. Indicadores de los Resultados del Proyecto 131
5.2. Valorización Económica Tasa de Morbilidad y Mortalidad 134

5.3. Indicadores de los Resultados del Proyecto, a nivel Social 134
5.4. Distribución muestra de expertos para asignación de pesos 135
5.5. Matriz de juicio para los Criterios Generales 138
5.6. Cálculo del vector de prioridades para criterios generales de evaluación . 139
5.7. Matriz de juicio para los Criterios Sociales 142
5.8. Matriz de juicio para los Criterios Ambientales 143
5.9. Matriz de juicio para los Criterios Económicos 144
5.10. Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación 145
5.11. Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación 146
5.12. Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación 156
5.13. Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación 157
5.14. Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación 158

Índice de Figuras

3.1. Valores de Normativa Vigente y Niveles de Latencia 12
3.2. Mapa de Ubicación Puerto Ventanas 16
3.3. Registro de monitoreo de SO_2, Estación la Greda, el 17 de enero del 2013 21
3.4. Índice de Peligro "HQnc" (No Carcinogénicos) 25
3.5. Complejo Industrial Ventanas 26
3.6. Distribución Consumo Energía por Sector 31
3.7. Consumo Eléctrico per cápita por país 31
3.8. Proyección de consumo total de Energía por sector en el período 2007-2020 32
3.9. Evolución Matriz Energética de Chile de 1999 a 2013 33
3.10. Capacidad Instalada SIC-SING a Diciembre del 2014 34
3.11. Energía Generada SIC-SING para el 2014 34
3.12. Proyección de la demanda de energía hasta el año 2030 35
3.13. Mapa Energético Eólico e Hidráulico de Chile 37
3.14. Mapa Energético Solar y Geotérmico de Chile 38
3.15. Mapa Energético Biomasa y Mareomotriz de Chile 39
3.16. Comparación Ley 20.257 y Ley 20/25 40
3.17. Comparación Ley 20.257 y Ley 20/25 41
3.18. Capacidad Instalada, a Abril 2016 43
3.19. Evolución de Generación Bruta de Energía Eléctrica ERNC 44
3.20. Cumplimiento de Leyes de ERNC por tecnología 45
3.21. Capacidad Offshore instalada a nivel mundial al 2014 47
3.22. Distribución de velocidad del viento durante un año 51
3.23. Ejemplo Representación gráfica de los datos del viento, mediante la Rosa de los Vientos 52
3.24. Cimentaciones instaladas según tipo tecnología, hasta el 2014 57
3.25. Potencia y profundidad recomendada para cada cimentación 58
3.26. Variación del coeficiente de potencia (C_p) frente a la velocidad específica (λ) para distintos tipos de aerogeneradores 61
3.27. Curva de Potencia del aerogenerador REPOWER 5 MW 62
3.28. Ejemplo de Turbina provocando efecto estela 63
3.29. Separación recomendada entre aerogeneradores 64
3.30. Problema de decisión 73
3.31. Proceso de una Evaluación Multicriterio 77
3.32. Identificación de los Criterios 78

3.33. Jerarquía del Modelo 79
3.34. Valores del IA, de acuerdo a la dimensión de la matriz comparada 84
3.35. Ejemplo de Análisis de los Indicadores 85
3.36. Ejemplo de Ranking de Alternativas 86

4.1. Ubicación del sitio seleccionado para la toma de muestras mar adentro . . 89
4.2. Profundidades del sitio seleccionado 90
4.3. Recurso Eólico del sitio seleccionado para la instalación del Parque Eólico 91
4.4. Rosa de los Vientos del sitio seleccionado 92
4.5. Configuración del Parque, según Opción 1 93
4.6. Configuración del Parque, según Opción 2 94
4.7. Configuración del Parque, según Opción 3 95
4.8. Curva de Potencia del aerogenerador SIEMENS 2.3 MW 96
4.9. Curva de Potencia del aerogenerador VESTAS 2.0 MW 97
4.10. Tipos de Plataformas Flotantes 98
4.11. Distribución de la Inversión Total 101
4.12. Pagos Financieros del Crédito 105
4.13. Coeficientes C-R en Concepción Metropolitana 111
4.14. Árbol de Jerarquía de la Evaluación 120

5.1. Análisis de Sensibilidad sobre los Indicadores Económicos 132
5.2. Matrices de juicios para levantamiento de la información 137
5.3. Modelo de valor para la evaluación de proyecto para mitigar el cambio climático en Quintero. Se consideran los grupos 1, 2 y 3 138
5.4. Prioridades para los beneficios sociales 142
5.5. Prioridades para los beneficios ambientales 143
5.6. Prioridades para los beneficios económicos 144
5.7. Creación de Empleos por tipo de planta de 500 MW en Estados Unidos . 149
5.8. Tasa de Compensación para cada Planta en Estados Unidos 151

1 | Introducción

La contaminación ambiental constituye uno de los mayores problemas, con los cuales el ser humano se ha estado enfrentando en los últimos años.

La contaminación de la atmósfera ha ido creciendo considerablemente y ha traído efectos muy negativos, tanto en la salud de las personas como en la naturaleza, provocando el llamado *Cambio Climático*.

A medida que la población va creciendo es necesario disponer de una mayor cantidad de energía, de esta forma satisfacer las necesidades que hoy en día el mundo está exigiendo, a esto se debe la gran importancia y necesidad que requiere generar más energía. Sin embargo para poder propiciar la energía eléctrica en la gran mayoría del planeta se están utilizando las fuentes primarias convencionales tales como: petróleo, gas natural y el carbón, pero estas fuentes están empezando a agotarse, es por ello que surge la necesidad de utilizar nuevas fuentes de generación de energía. Es aquí cuando las energías renovables no convencionales (ERNC) toman un rol fundamental para el bienestar de las personas; puesto a que éstas fuentes son recursos naturales, que se caracterizan por ser inagotables, y su vez no perjudiciales, debido a que no generan deshechos dañinos ni para la salud de las personas ni para la naturaleza.

La realidad nos indica que Chile es un país altamente dependiente de las fuentes primarias convencionales, pues al ser un país que no genere en gran medida estos combustibles fósiles, debe importarlo todo desde el exterior, quedando de cierta manera expuesto a las crisis internacionales que ocurren en el mundo. No obstante, Chile posee una geografía

muy abundante en cuanto a recursos naturales, lo que facilita la generación de energías limpias, gracias a la radiación solar que tiene en los desiertos, los vientos que corren a lo largo de su geografía costera, y la enorme cantidad de agua que circula en el sur del país.

La actual Política Energética[1] contempla un cambio radical en la matriz energética del país, trabajando para que, en el año 2050, esté compuesta en su gran mayoría por energías limpias. Para lo cual, tendrá que incentivar a la inversión en estudios y en la realización de parques solares, eólicos onshore, eólicos offshore, geotérmicos, hidráulicos, entre otros.

Sin embargo, a los largo de la historia, para poder producir la electricidad se han instaurado centrales termoeléctricas en gran parte del país, pues son las más económicas. Por otro lado, nos encontramos que, ni hasta el día de hoy, Chile cuenta con una *Planificación Industrial Territorial* lo que ha generado que algunas centrales sean establecidas en lugares muy cercanas a alguna comunidad, provocando consecuencias muy negativas para la calidad de vida de las personas que viven en aquellos sectores.

Uno de los sectores más perjudicados, por lo anterior, es la Comuna de Quintero, dentro de la cual se ubica el Parque Industrial de Ventanas, que se sitúa a muy pocos kilómetros de la ciudad. Esto hecho, ha traído consecuencias fatídicas para la calidad de vida de las personas que viven allí, pues los niveles de contaminación atmosférica están por sobre lo permitido para vivir, ocurriendo así una serie de accidentes que han dañado el medio ambiente, ocasionando un aumento de enfermedades respiratorias, muertes, y un sin número de desafortunados sucesos que han hecho que este lugar sea denominado *Zona de Sacrificio Ambiental*. Ante esta situación cabe preguntarse ¿Se han tomado medidas para mitigar esta situación? ¿Se han realizado estudios al respecto? ¿Qué opina la comunidad de Quintero al evaluar esta situación?

El objetivo de este trabajo es entregar una propuesta concreta que contemple la mitigación del cambio climático generado por el Parque Industrial de Ventanas, la contaminación

[1] Para más información ver Ministerio de Energía (2015)

ambiental y el bienestar de la comunidad. Para ello se estudiará la viabilidad técnica de implementar un Parque Eólico Offshore cerca de la Bahía de Quintero, cuya finalidad es suplir parte de la energía generada por este parque, de algunas de las Centrales Térmicas a Carbón que se encuentran en la zona.

Además se realizará una evaluación económica, cuya gestión considerará dentro de su análisis la inversión inicial, gastos e ingresos anuales, y los ahorros que traería en dejar de utilizar la central termoeléctrica. Sin embargo, como nos dice Pacheco y Contreras (2008) también se debe considerar la evaluación social para este tipo de proyectos, es por esto que se utiliza una técnica conocida como *Evaluación Social Multicriterio*, dicha variable será capaz de abarcar tanto los beneficios cuantitativos como los cualitativos del proyecto.

La Evaluación Social Multicriterio corresponde a una metodología muy utilizada para la realización de proyectos sociales, pues ha sido trabajada para apoyar la toma de decisiones de proyectos que tienen como objetivo contribuir y optimizar el bienestar de las poblaciones. Ejemplos de esta evaluación se pueden encontrar en Pacheco y Contreras (2008) y Arancibia et al. (2003).

2 | Objetivos

2.1. Problemática

El grave y complejo problema medioambiental de contaminación saturada de metales pesados en la localidad de Ventana-Puchuncavì es sin duda un problema muy difícil de presentar. Por un lado existe en la Región de Valparaíso el Parque Industrial más grande de Chile, por la mayor concentración de refinerías y termoeléctricas. Por otro, una comunidad entera de seres humanos, animales y plantas de tierra y mar, correspondiendo además a la población más vulnerable y pobre de la comuna de Valparaíso. Que vive sometida a decisiones arbitrarias de empresas estatales y privadas en materia energética y de generación eléctrica. Y por otro lado, un estado indolente e indiferente a este sufrimiento que ha permitido a lo largo de sus sucesivos gobiernos la continuación en la instalación de estas fuentes altamente contaminantes. Privilegiando los intereses privados en abierta contraposición al bienestar y salud del ser humano y bien común Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2014).

La población de ventanas tiene un largo y tortuoso peregrinar en la búsqueda de una solución a su grave problema de salud y contaminación. Mucho se ha escrito, documentado, fotografiado y denunciado, ya llevan más de cuarenta años, pero esta situación parece no cambiar.

Todas estas características de grave contaminación en la comunidad de ventana, ha dado lugar a la horrenda frase denominada “Zonas de Sacrificio”, que no es más que la

discriminación hacia personas que sobreviven a estos mortales gases tóxicos, a diferencia de otros lugares costeros pero de mayores recursos económicos y de redes de apoyo social. Pareciera que vivimos en un país donde no cabe otra posibilidad que aprobar termoeléctricas y refinerías y concentrarlas todas en el mismo lugar, sin importar el tremendo costo en vidas humanas, ambientales, económicas y sociales que estas decisiones implican.

Como nos detalla Fiallega y Gomez (2002), el ambiente influye sobre diversos aspectos del bienestar de la población, y en algunos casos los riesgos a la salud son iniciados, preservador o exacerbados por factores ambientales. La calidad de vida y del ambiente están íntimamente relacionados y representan un complejo espectro de interacciones. Establecer un vínculo causal entre ciertos factores medioambientales y los efectos perjudiciales para la salud plantea muchas dificultades. Entre ellas se citan la lentitud de acumulación de evidencias para establecer el riesgo de la población expuesta; la variabilidad en la exposición individual, que puede expresarse con diversos trastornos de salud; y el hecho de que los síntomas específicos pueden corresponder a exposiciones diferentes (De Pietri et al. (2011)).

Ante esta situación queda de manifiesto la siguiente interrogante ¿Existe alguna solución a este problema, que pueda satisfacer tantos las necesidades de los privados, como de la enorme cantidad de personas que habitan en esta llamada “Zona de Sacrificio”?

En la presente tesis se busca dar una primera aproximación a una nueva alternativa para la recuperación de la zona de Quintero, mediante la implementación de un Parque Eólico Offshore. En este documento se analizará la viabilidad técnica, económica y se analizarán los factores sociales y ambientales (mediante la implementación de la Metodología de la Evaluación Multicriterio[2]); que dicho sea de paso han sido muy olvidados en los actuales proyectos de generación de energía en el país.

En este trabajo se hace mención al tema de la innovación, pues se tiene un caso base como lo es la actual Central Térmica Energía Minera a Carbón, con una potencia instalada

[2]La explicación en detalles de esta metodología se justifica en Pacheco y Contreras (2008)

de 1.050 MW; mientras que el caso propuesto es analizar la sustitución de generación de una parte de la energía generada por esta central, pasando a una reducción de su generación de 1.050 MW a aproximadamente 700 MW, mientras que el Parque Eólico Offshore tendrá una potencia instalada de 350 MW. A partir de lo anterior, se generará una cierta cantidad de energía con recursos renovables con lo cual se disminuirá una pequeña porción de la contaminación que actualmente se produce.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad de implementar un Parque Eólico Offshore capaz de apoyar, de manera parcial o total, la actual producción de energía a través de fuentes convencionales, mediante una evaluación cuantitativa y cualitativa de sus beneficios económicos, sociales y ambientales, para poder entregar un primer paso para mitigar el impacto ambiental generado por la cercanía del Parque Industrial a la Ciudad de Quintero.

2.2.2. Objetivos específicos

1. Analizar la capacidad técnica de la zona de Quintero, para poder incorporar el Parque Eólico Offshore.

2. Efectuar una evaluación económica mediante el Método Cuantitativo Tradicional.

3. Realizar una evaluación social y medioambiental mediante el Método de Evaluación Multicriterio Jerárquica.

4. Fomentar la participación de la Comunidad como una herramienta eficiente para apoyar la toma de decisión de las evaluaciones.

3 | Marco Teórico

3.1. Planificación industrial territorial en Chile

3.1.1. Regulación industrial

Como detalla Kattan (2015), en la legislación chilena actual no existe una ley específica que regule la industria, solo existen leyes parciales para temáticas determinadas como la higiene, la seguridad o los derechos de los trabajadores. Sin embargo existen conductos regulares que éstas deben seguir para poder instalarse en determinado lugar y ejercer sus actividades.

En primer lugar, se debe clasificar a la empresa dentro de alguno de los rubros industriales para obtener el giro que tendrá la actividad realizada por la empresa. Luego, la empresa debe obtener un permiso municipal para poder instalarse en el lugar establecido, para obtener lo anterior la empresa debe realizar una serie de trámites municipales para obtener el permiso y certificar que el negocio pueda instalarse, ampliarse o constituirse en ese lugar. La cantidad de permisos que la empresa debe obtener para realizar lo solicitan dependerá de la actividad a la cual se desempeñan.

A continuación, se presentan algunos de los trámites más comunes que deben realizar las empresas[3]

1) Certificado de Informaciones Previas.

[3]Para conocer en detalle cada uno de estos permisos consultar el trabajo de Kattan (2015)

2) Certificado Municipal de Zonificación.

3) Permiso de Edificación.

4) Recepción Definitiva de Obras.

5) Permisos Sanitarios.

6) Permisos de Instalación de Servicios Básicos.

7) Permisos Especiales.

Las normativas ambientales que regulan la industria chilena, se basan en la Ley General de Bases del Medio Ambiente (2010). Este ley se basa en *"El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia"*, y sus principales ejes a los que deben cuidar las industrias son:

a) Residuos Líquidos.

b) Contaminación Atmosférica de los residuos industriales sólidos.

c) Sistemas Peligrosos (Químicos).

d) Contaminación Acústica (Ruidos).

e) Radiación Industrial.

f) Seguridad y Salud Ocupacional.

g) Normativas Sectoriales.

Además de lo anterior Kattan (2015) menciona que se incluye la elaboración de los Planes de Prevención le corresponden al Ministerio de Medio Ambiente, sin embargo, el seguimiento debe realizarlo la Superintendencia de Medio Ambiente. El Plan de Prevención tiene por objetivo implementar las medidas específicas para evitar superar una o más

normas de calidad ambiental en una zona latente. Al contrario de los Planes de Descontaminación, los cuales definen medidas y acciones para recuperar los niveles de las normas de calidad ambiental en zonas saturadas por contaminantes.

Un Plan de Prevención o Descontaminación debe incluir, en su declaración, al responsable de contrarrestar el efecto adverso que dio origen al Plan, además de fijar un plazo máximo para alcanzar los niveles normales, estimar los costos y beneficios económicos y sociales de restablecer los valores permitidos de emisión, además de los mecanismos de compensación por el daño causado.

3.1.2. Contaminación atmosférica

1) Índice de calidad de aire referido a partículas (ICAP10): Este índice está relacionado con la concentración de material particular respitable. MP10.[4]

Tabla 3.1: Índice ICAP para las concentraciones de MP10

ICAP MP10	**Concentración 24 horas MP10** ($\mu g/m^3$)
0	0
100	150
500	330

Fuente: Ministerio de Ambiente (2014)

Es así como se definen niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para material particulado respirable MP10, en donde las concentraciones calculadas en promedio móvil para 24 horas se encuentre en el respectiva rango que se señala en la tabla 3.2:

[4]Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones.

Tabla 3.2: Norma chilena para Calidad Primaria MP10

Nivel	**Concentración 24 horas MP10** ($\mu g/m^3$)
Alerta	195 a 239
Preemergencia	240 a 329
Emergencia	330 o superior

Fuente: Ministerio de Ambiente (2014)

2) Índice de calidad de aire referido a partículas (ICAP2,5): Este índice está relacionado con la concentración de material particular respirable. MP2,5.[5]

Tabla 3.3: Índice ICAP para las concentraciones de MP 2,5

ICAP 2,5	**Concentración 24 horas MP 2,5** ($\mu g/m^3$)
0	0
100	50
500	170

Fuente: Ministerio de Ambiente (2012)

La norma primaria de calidad del aire para material particulado fino es veinte microgramos por metro cúbico (20 $\mu g/m^3$), como concentración anual, y cincuenta microgramos por metro cúbico (50 $\mu g/m^3$), como concentración de 24 horas. Es así como se definen niveles que originan situaciones de emergencia ambiental para material particulado respirable MP 2,5, en donde las concentraciones calculadas en promedio móvil para 24 horas se encuentre en el respectiva rango que se señala en la tabla 3.4:

Tabla 3.4: Norma chilena para Calidad Primaria MP 2,5

Nivel	**Concentración 24 horas MP 2,5** ($\mu g/m^3$)
Alerta	80 a 109
Preemergencia	110 a 169
Emergencia	170 o superior

Fuente: Ministerio de Ambiente (2012)

[5]Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrones.

c) Dióxido de Azufre (SO_2): El D.S.Nº113/02 del MINSEGPRES, norma Primaria de Calidad del Aire para dióxido de azufre (SO_2), que indica lo siguiente:

- Diaria: La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 96 ppbv (250 $\mu g/m^3N$).
- Anual: La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 31 ppbv (80 $\mu g/m^3N$).

d) Dióxido de Nitrógeno (NO_2): El D.S. Nº114/02 del MINSEGPRES, norma Primaria de Calidad del Aire para dióxido de nitrógeno (NO_2), que indica lo siguiente:

- Horaria: La norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración de 1 hora será de 213 ppbv (400 $\mu g/m^3N$).
- Anual: La norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno como concentración anual será de 53 ppbv (100 $\mu g/m^3N$).

e) Ozono (O_3): En la Resolución Nº1215/78, se señala que para los efectos de protección de la salud se permitirán ciento sesenta microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3N$) como concentración media aritmética de una hora, no debiendo sobrepasarse este valor más de una vez por año.
Esta norma ha sido revisada, estableciéndose bajo el D.S. Nº112/02 del MINSEGPRES la norma Primaria de Calidad del Aire para ozono (O_3). Este decreto señala que la norma primaria de calidad del aire para ozono como concentración de 8 horas será de 61 ppbv (120 $\mu g/m^3N$).

f) Monóxido de Carbono (CO): El D.S. Nº 115/02 del MINSEGPRES, norma Primaria de Calidad del Aire para Monóxido de Carbono (CO). Este decreto señala que la norma primaria de calidad del aire para Monóxido de Carbono como concentración de 8 horas será de 9 ppmv (10 mg/m^3N). Así mismo establece que la norma primaria de calidad del aire para Monóxido de Carbono de 1 hora será de 26 ppmv (30 mg/m^3N).

g) Plomo (Pb): En el Decreto Supremo Nº136 del año 2000, establece la norma primaria de calidad para el plomo en el aire cuyo valor es de 0,5 $\mu g/m^3N$ como concentración anual.

En la figura 3.1 se muestra un resumen de lo anterior:

Parámetro	Norma horaria (µg/m³N)	Norma diaria (µg/m³N)	Norma anual (µg/m³N)	Nivel de latencia horaria (µg/m³N)	Nivel de latencia diaria (µg/m³N)	Nivel de latencia anual (µg/m³N)
O_3 (D.S.112)	120 (8 hrs.)	-	-	96 (8 hrs.)	-	-
Pb (D.S.136)	-	-	0,5	-	-	0,4
NO_2 (D.S.114)	400	-	100	320	-	80
SO_2 (D.S.113)	-	250	80	-	200	64
CO (D.S.115)	30 (mg/m³N) (1 hr.) 10 (mg/m³N) (8 hrs.)	-	-	24 (mg/m³N) (1 hr.) 8 (mg/m³N) (8 hrs.)	-	-
MP10 (D.S.20)	-	150	50	-	120	40
MP2.5 (D.S. 12)	-	50	20	-	40	16

Figura 3.1: Valores de Normativa Vigente y Niveles de Latencia

Fuente: Centro Nacional del Medio Ambiente (2014)

3.1.3. Zonas saturadas

La Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente define las Zonas Saturadas como "*aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas*". Si bien esta definición es simple, abarca el sin numero de normas de emisión o calidad revisadas anteriormente. Este tipo de zonas se establecen por Decreto Supremo y son derogadas una vez que el origen de dicho decreto ya no exista más, es decir, que la zona decretada como Saturada deje de serlo.

Chile cuenta con un programa de información georrefenciada llamado IDE[6] que provee información territorial acerca de Emergencias Nacionales, Actividad Volcánica, Energía y Geología, Información Base, Topografía, Medio Ambiente y Conservación, Minería, Oceanografía e Hidrografía, Planificación Territorial, Propiedades Fiscales y Transporte.

[6]IDE: Infraestructura de Datos Geoespaciales

El IDE muestra las siguientes Zonas Saturadas:

1) Tocopilla: Es declarada Saturada en 2007 por el Ministerio Secretaría General de la Republica bajo el D.S. 50 por presentar índices altos de material Particulado respirable MP10 como concentración anual.

2) Calama: En 2009 es decretada como una zona Saturada también por acumulación alta de material Particulado respirable MP10, actualmente el nivel de contaminación en la ciudad ha aumentado en vez de disminuir.

3) Andacollo: En 2009, es decretada como una zona Saturada pues presenta una alta concentración de Material Particulado Respirable MP10 como concentración anual y diaria.

4) Valle Central de la VI Región: En 2009, fue declarada como zona Saturada por MP_{10} en concentración diaria y anual. Es una de las zona más contaminadas de Chile, abarcando la mayor área territorial hasta el momento.

5) Maule y Talca: En 2010 es declarada Zona saturada por MP10 respirable este territorio. Actualmente la zona q abarca la contaminación es mayor y se debe principalmente por el uso desregulado de la leña.

6) Temuco y Padre de las Casas: La ciudad de Temuco es una de las primeras zonas que se declaró Saturada en 2005 por MP10 respirable en concentración de 24 horas bajo el D.S 35.

3.1.4. Parques industriales

En su trabajo Kattan (2015) menciona que en la última década, las economías más desarrolladas se han dado cuenta de la importancia de sectorizar las distintas actividades productivas de cada nación, separando a las comunidades y los servicios, de las industrias y sectores productivos. Esta segregación se ha producido porque el nivel de productividad que requieren las grandes económicas ha aumentado a niveles superiores de lo que se puede generar de manera local, generando escases de recursos, aumento de precios, mayor

contaminación, entre otros efectos.

En base a ello se ha vuelto fundamental evolucionar la manera de producir y aprovechar los recursos, además de cuidar el medio ambiente y mantener estándares de calidad de vida adecuados. Para esto, una de las iniciativas que ha tenido mayor cabida a nivel mundial han sido los parques industriales o polos industriales (Conglomarate Company).

Este sistema consiste en una zona industrial en el cual se agrupan industrias de distintos rubros en un espacio territorial especial, destinado exclusivamente al desarrollo industrial. Este terreno debe contar con fuentes de energía para el funcionamiento de las empresas, transporte y mano de obra, áreas de servicios públicos (abastecimiento eléctrico y de agua), plantas de tratamiento de desechos y, lo más importante, está sujeto a fiscalización por parte del Estado en materias de impuestos, emisiones, cuidado del medio ambiente, índices de productividad, entre otros.

Este método de agrupación ha traído cada vez más beneficios, dado que ofrece una solución viable para el conflicto entre comunidades e industrias, ofrece la capacidad de reconocer zonas estrictamente seleccionadas para ejercer actividades productivas, obliga a los gobiernos a contar una política regulatoria seria y efectiva, permite mayor fiscalización y, sobre todo, da la posibilidad de crear nexos de simbiosis industrial[7] reutilizando desechos y materias primas o redirigiendo emisiones a otros procesos productivos, cuidando así el medio ambiente y disminuyendo el uso de recursos efectivo.

Sin embargo, hay otros casos en los cuales estos parques industriales han traído serios problemas como en el caso que se estudiará en este trabajo.

[7] Se da en el uso entre empresas o subproductos de otras empresas, es decir, utilizar residuos de una empres como materia prima o fuente de energía de otra

3.2. La comuna de Quintero

Es una comuna costera perteneciente a la Provincia de Valparaíso, está delimitado al Norte por la bahía homónima, al Sur por el Río Aconcagua que lo separa de la ciudad de Concón, al Norte por el pueblo de Ventanas, perteneciente a la Comuna de Puchuncaví, al Este por la Cordillera de la Costa y el "Cerro Mauco" que hacen frontera con la Comuna de Quillota, y al Oeste por el Océano Pacífico.

Se encuentra en la latitud $32^o46'59''S$, longitud $071^o31'59''O$ y una altitud media de 20 metros por sobre el nivel del mar.

La comuna de Quintero posee una superficie de 148 km^2 y una población de 21.174 habitantes, de los cuales son 10.784 mujeres y 10.390 hombres. Quintero acoge al 1.38 % de la población total de la región.[8]

Este trabajo se centrará en el Puerto de Ventanas-Puchuncaví (Ver Figura 3.2):

[8]Censo 2012, Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas

Figura 3.2: Mapa de Ubicación Puerto Ventanas

Fuente: http://www.vi.cl/mapasweb/quinta_region_de_valparaiso.html

3.2.1. Complejo industrial de Ventanas

En el trabajo de Correa Pérez (2012) se cuenta que el Complejo Industrial Ventanas se emplaza en la Bahía de Quintero, territorio que se encuentra bajo la administración de dos municipios, Puchuncaví y Quintero, en la región de Valparaíso. La actividad portuaria de la zona comienza en 1865 mediante la creación del Puerto mayor de Quintero, para entonces el sector era utilizado por pequeños asentamientos humanos que desarrollaban como actividad económica primordialmente la explotación de los recursos marinos, además de presentar una creciente actividad agrícola. La actividad propiamente industrial comienza

a fines de la década de 1950, que impulsada por las políticas nacionales de desarrollo de la industria secundaria en Chile, se inaugura en 1961 el Complejo Industrial Ventanas enarbolando promesas de progreso y desarrollo para la zona y la economía nacional. Entra en operaciones el año 1964 con la fundición de cobre de ENAMI (actual División Codelco Ventanas) y Ventana I, la primera termoeléctrica de Chilectra (hoy, AES Gener S.A,). Dos años más tarde, en 1966, entrará en funcionamiento la refinería de cobre de ENAMI.

En la época que contextualiza la instalación de estas empresas la preocupación por las problemáticas socio-ambientales era escasa y las normativas ambientales hoy aplicables a estas industrias no existían. No obstante, a la hora de decidir el emplazamiento del complejo industrial en la zona de Las Ventanas, los aspectos ambientales del lugar fueron atentamente sopesados por presentar condiciones favorables de dispersión de gases como a la disponibilidad de agua del Humedal Campiche. En respuesta a su emplazamiento y sin un contenido específicamente ambiental se generaron espaciados y débiles reclamos de la comunidad, primordialmente de agricultores, que era la mayor fuerza productora local.[9] Dichos reclamos fueron desechados, por el necesario sacrificio por el progreso del país y por fundarse en argumentos carentes de técnica científica.

Con el transcurso del tiempo el Complejo Industrial ha ido en permanente crecimiento, en 1977 entra en operaciones la segunda chimenea de Chilectra (Ventana II), para diez años más tarde en 1987 marcase un hito en la expansión industrial de la bahía con la modificación del Plan Regional Intercomunal de Valparaíso al satélite de borde costero norte[10], que expande el uso de suelo destinado a industrias peligrosas e insalubres y establece zonas adyacentes de restricción, otorgando la disponibilidad de suelo para el ingreso de múltiples industrias. En el tiempo que medió entre la instalación de estas industrias y el retorno a la democracia, en un marco histórico particularmente reticente al derecho de reunión, se produce respecto del conflicto lo que estudios han denominado como "na-

[9] SABATINI, Francisco; MENA, Francisco; y VERGARA, Patricio. Otra vuelta a la espiral: El conflicto ambiental en Puchuncaví bajo democracia. En Revista Ambiente y Desarrollo. CIPMA. VOL XIII - Nº4, Diciembre 1996, p. 31.

[10] Decreto Supremo Nº 116 del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, de 1987.

turalización de la contaminación"[11], puesto que no existieron mayores contrapesos por parte de la comunidad al permanente establecimiento de instalaciones industriales, salvo algunas acciones judiciales entabladas por agricultores contra la empresa ENAMI que no prosperaron por consideraciones principalmente procedimentales.

Hacia fines de los ochenta se forma una agrupación entre profesores y agricultores de la zona, quienes redactaron documentos de denuncia y promovieron el levantamiento de información científica. Así, el conflicto emerge nuevamente, esta vez con un fuerte contenido de denuncia a la desmedida contaminación y cargas ambientales que estaban sufriendo las comunidades locales. En 1989, el Club Rotario local forma la Junta de Adelanto de Puchuncaví con el objeto de denunciar los problemas ambientales que aquejaban la zona. El trabajo de esta agrupación ciudadana permite crear el Comité de Defensa del Medio Ambiente de Puchuncaví siendo integrado por la Municipalidad, y presidido por su Alcalde.[12] Esta entidad local logró dar una connotación comunicacional al problema, permitiendo la difusión de investigaciones realizadas por la comunidad científica que daban cuenta de los serios impactos de las emanaciones de las chimeneas sobre la salud y el medio ambiente local. A pesar de ser estas agrupaciones las detonadoras de la visibilización del problema local, no participaron ni integraron las reuniones entre el Gobierno Regional, Chilegener y ENAMI de las cuales resultó la firma de un protocolo de acuerdo para proponer un plan de descontaminación en 1990, dicho plan fue aprobado en 1992.[13] En razón del evidente deterioro medioambiental que evidenciaron las comunas de Puchuncaví y Quintero, en diciembre de 1993 la zona queda afecta a una de las primeras regulaciones sobre Zonas Saturadas de Contaminación de PM_{10} y SO_2[14], inclusive un año antes de la entrada en vigencia de la Ley Nº 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente. (Correa Pérez, 2012)

[11] BUSCHMANN Josefina y JACOB, Daniela. Arqueología de una Controversia. Reconstrucción histórica del Centro Industrial de Ventanas. Taller de Titulación 1. Instituto de Sociología. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012.

[12] SABATINI, MENA y VERGARA, Op. Cit., p. 32.

[13] D.S. Nº 252 del Ministerio de Minería, de 1992.

[14] A través del Decreto Supremo Nº346 del Ministerio de Agricultura, de 1993, que declara como zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado respirable a la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas, en las áreas jurisdiccionales de las comunas de Puchuncaví y Quintero.

Como antes se mencionó, es durante esta etapa que se aprueba el Decreto Nº 116 del MINVU de 1987, que modifica el Plan Regulador Intercomunal de Valparaíso aumentando el territorio disponible para uso industrial, entonces al tiempo que declina el conflicto en razón de las medidas adoptadas. Sin embargo, el arribo de empresas e industrias particularmente complejas en términos de contaminación y riesgos es paradójicamente continuo. Actualmente en la Bahía de Quintero se cuentan más de una decena de industrias emplazadas en la zona entre ellas (Ver Figura 3.5) AES Gener (4 termoeléctricas), CODELCO División Ventanas, Endesa (2 termoeléctricas), Puerto Ventanas, Gasmar, Oxiquim, Teminal de Acopio Cemento el Melón, GNL, Comercial Catamutún, ENAP terminal Quintero, COPEC, PACSA, entre otras. Su emplazamiento ha traído consigo un crecimiento poblacional que se asienta en sectores aledaños a las industrias contaminantes y peligrosas, que a pesar de su ”sacrificio patriótico” no evidencian progreso ni desarrollo, por el contrario los índices de pobreza son más altos que el porcentaje promedio nacional, a lo que se suman problemas de acceso a servicios básicos (como el agua potable), afectaciones permanentes a la salud además de un entorno completamente contaminado, donde las diversas actividades económicas (pesquera, agrícola, portuaria, turística, energética y minera) ejercen constantemente presiones sobre el territorio, con diferentes intensidades y magnitudes sobre el ecotono del borde costero que han provocado una palpable y vívida degradación ambiental en todos sus componentes.

Con respecto al Plan Regulador, este ha sufrido más de 4 modificaciones con beneficios a empresas, es decir, ha otorgado más terrenos a industrias de alto impacto a pesar del Plan de Descontaminación en proceso. Adicionalmente, el Plan Regulador inicial especificaba que la zona de la Bahía de Quinteros no era apta para la instalación de industrias peligrosas e insalubres o industrias molestas. En cuanto al Marco Regulatorio Ambiental, si bien las empresas cumplen la normativa de Azufre bajo 45 mil toneladas por año y MP10 bajo mil toneladas anuales, estas se transan como activos en caja para ser utilizadas por otras empresas que hoy están instaladas en el sector. En cuanto a la contaminación del suelo y de la bahía no existe fiscalización, ni norma adecuada que prohíba la descarga

directa de Riles al mar, por lo que hoy contienen mercurio, plomo, arsénico, cobre, selenio y cromo.

El plan de monitoreo actual está considera obsoleto por la Comisión, dado que los registros que ésta presenta nunca han sido certificados ni auditados.

Según Seremi Salud V Región (2010), durante los años 2010 y 2011 se realizaron diversos monitoreos ambientales tanto del suelo como del aire, llegando a las siguientes conclusiones:

a) **Calidad del Aire**: Los monitoreos de Calidad del Aire que se han estado realizando en las 5 estaciones emplazadas en la comuna de Puchuncaví, dan cuenta que la estación La Greda, si bien cesó de su condición de Saturación conforme a la norma anual de material particulado respirable, MP10 en el año 2001, se ha mantenido en condición de latencia[15] desde el año 2002 a la fecha, llegando a un 98 % de la norma durante el periodo 2006-2009.

   En el trabajo de Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013), se ven algunos registros de monitoreo[16] que tiene el Complejo de Ventanas que lo obliga a disminuir y eventualmente detener la producción en caso de que se detecten aumentos en los niveles de contaminación. En la Figura 3.3 se aprecia un ejemplo de esto[17]:

[15]Zona Latente: Aquella área geográfica en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80 % y el 100 % del valor de la respectiva norma de calidad ambiental.

[16]Proporiciondos por `www.redmonitoreoventanas.cl`

[17]Para conocer con más profundidad este tópico, revisar el trabajo de Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013)

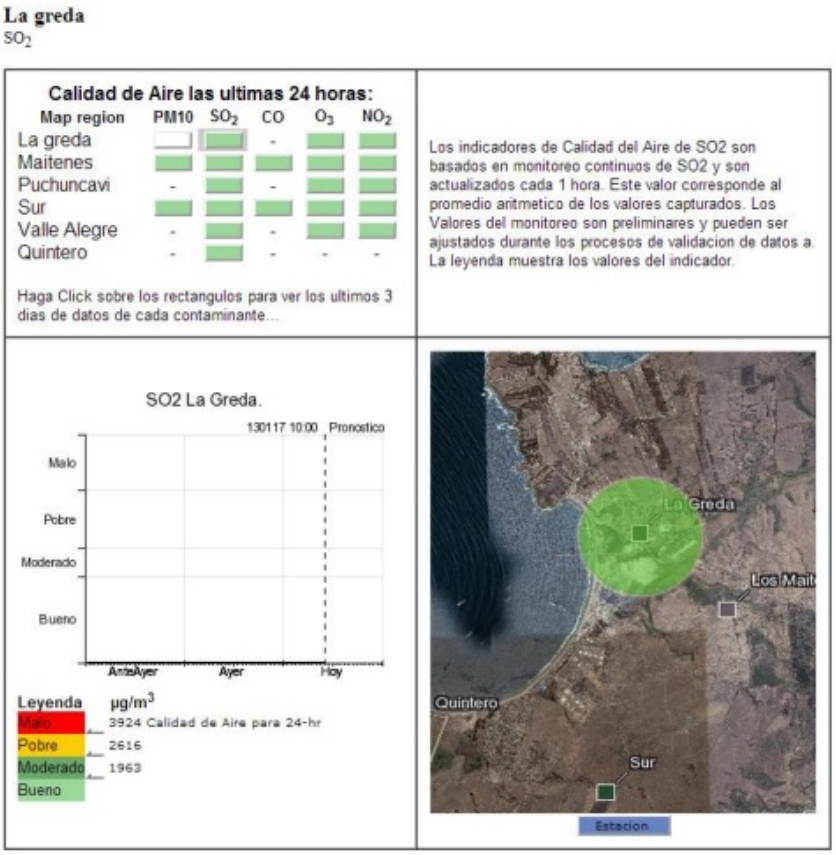


Figura 3.3: Registro de monitoreo de SO_2, Estación la Greda, el 17 de enero del 2013

Fuente: http://www.redmonitoreoventanas.cl/index.php/contaminantes

En Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013), también se realiza una comparación (Ver Tabla 3.5) entre las emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes fijas de las comunas de Puchuncaví y de El Tabo[18]:

[18]Se realizaron con datos obtenidos del 2011 por el Ministerio del Medio Ambiente.

Tabla 3.5: Comparación Emisiones Aire Fijas de Puchuncaví y El Tabo año 2011

Contaminante	Total Emisiones Aire Puchuncaví	Total Emisiones Aire El Tabo	Unidad Medida
Arsénico	0,01	0,00	t/año
Benceno	0,11	0,03	t/año
Compuestos Orgánicos Volátiles	15,37	9,42	t/año
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)	0,41	0,00	gr/año
Dióxido de Carbono (CO_2)	3.859.853,80	0,01	t/año
Material particulado	1.463,33	8,34	t/año
Mercurio	0,24	0,30	t/año
Monóxido de carbono	372,67	0,03	t/año
MP10	494,46	4,18	t/año
MP2,5	348,41	1,01	t/año
Nitrógeno amoniacal (o NH_3)	1.209,99	0,21	t/año
NO_x	9.509,63	0,12	t/año
Plomo	0,02	0,00	t/año
SO_x	182.626,98	6,29	t/año
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	0,17	0,04	t/año

Fuente: Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013).

b) **Calidad de Agua del Mar**: El día 28 de marzo de 2012 la ONG Oceana[19] realizó un muestreo de mariscos y crustáceos(almejas, lapas, locos y jaibas) en 4 puntos aledaños a la localidad de Ventanas, para determinar su posible contaminación con metales.

La página web de Oceana informa que la toma de muestras fue realizada con la ayuda de pescadores artesanales de la caleta Ventanas, bajo la supervisión de un técnico del laboratorio GCL Gestión de Calidad y Laboratorio S.A. (de la Fundación Chile), donde los principales resultados revelan[20]

[19]Información citada en: http://oceana.org/es/sa/nuestro-trabajo/energia-limpia/zonas-de-sacrificio/mas-informacion/zonas-de-sacrificiomedicion-de-metales-en-mariscos-y-crus

[20]Información citada en: http://oceana.org/sites/default/files/sao/

Contaminación con cobre, arsénico y cadmio en el 100 % de las especies (lapas, almejas, locos y jaibas) analizadas.

Los valores más altos de contaminación con cobre, arsénico y cadmio se detectaron en los locos del área de manejo de la playa el Tebo. Estos contienen 5 veces más cobre y 4 veces más arsénico que lo que permite la normativa chilena. La playa el Tebo se ubica unos 2 kilómetros al norte de Ventanas y es importante para los pescadores artesanales del lugar. Las jaibas muestreadas contienen valores de cobre y de arsénico 4 veces sobre la normativa chilena. En la Tabla 3.6 se muestra lo anterior:

Tabla 3.6: Concentración de metales por especies muestreadas

Marisco o Crustáceo	Cobre (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)
Almejas	10,1	2,1	0,27
Lapas	23,45	0,915	2,35
Locos	52,9	7,35	8,15
Jaibas	45,6	7,73	2,37
Valores Max Permisibles (Chile)	10	2	No hay norma
Valores Max Permisibles (Europa)	No hay norma	2,6	1,5
Valores Max Permisibles (CODES/FAO)	No hay norma	0,1	2

Fuente: Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013).

En la Tabla 3.6 se puede observa la grave contaminación en la muestra observada, lo cual es muy desfavorable para la zona, pues no solo tiene altos índices de contaminación atmosférica, sino que también tiene altos niveles de contaminación en el agua de mar.

L-2225-lab-prefinal.pdf

Analizado todo lo anterior, la situación es bastante complicada, por un lado existe una cantidad interminable de testimonios fidedignos que explicitan las malas prácticas de este grupo de empresas, pero por otro lado las industrias se defienden comprobando que cumplen los estándares normativos mínimos de emisión. Por lo tanto la situación se vuelve insostenible dada la escasa fiscalización por parte de los organismos estatales correspondientes y la falta de una normativa eficiente que restrinja el quehacer industrial, velando por el medioambiente y por la calidad de vida de las personas que habitan en el sector (Comisión de Recursos Naturales Bienes Nacionales y Medio Ambiente, 2011).

A principios del 2015, la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente declaró las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví Zona Saturada por MP2,5 anual y latencia por MP10 diario.

A lo largo del tiempo, han ocurrido algunos episodios de extrema gravedad en la zona, la primera de ellas ocurre en marzo del año 2011, en donde se identificaron 30 casos (entre alumnos y profesores) de intoxicación en la escuela La Greda. Fue este suceso el punto de partida para que las autoridades comenzaran a involucrarse con lo sucedido, y empezaran a hacer estudios en la zona. El ministerio de Salud y Medio Ambiente, fue la encargada de realizar un estudio que duró aproximadamente 2 años en dar los resultados de éste, el cual determinó en octubre del 2013 que las 14 escuelas de la zona estaban contaminadas por metales pesados. En la figura 3.4, se puede apreciar alguno de los resultados realizados por este estudio, acerca de los índices de peligro “HQnc” (No Carcinogénicos).

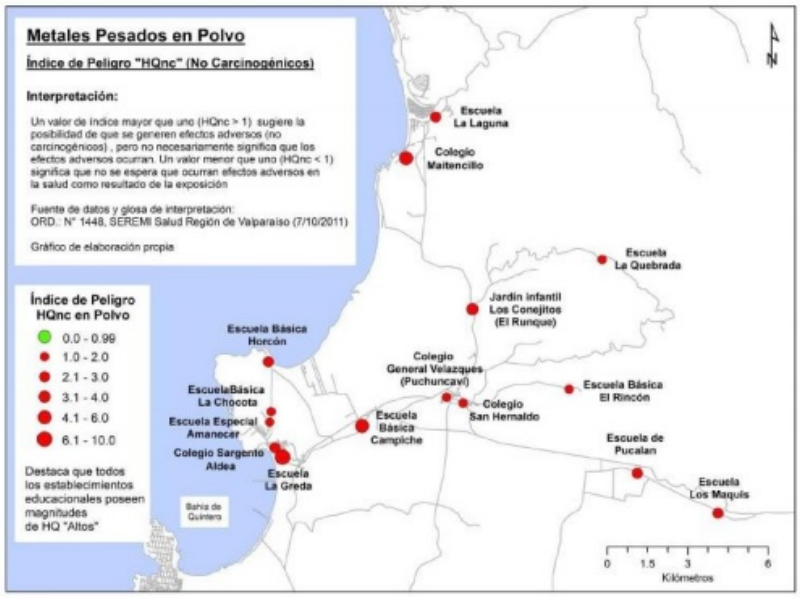


Figura 3.4: Índice de Peligro "HQnc" (No Carcinogénicos)

Fuente: Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013)

Este episodio también trajo como consecuencia que la cámara de diputados ordenara a una comisión para investigadora para que entregara un informe sobre la situación de la Bahía. En este informe se reveló que existe más de 19 industrias emplazadas (Ver figura 3.5) a lo largo del área de la Bahía de Quintero. Sin embargo, no hay claridad sobre cuáles de ellas cuentan con una resolución de calificación ambiental ni sanitaria, tanto como la recepción de obras municipales, cuál es la capacidad de carga del territorio, cuales son los efectos contaminantes al agua, aire y suelo de cada una de ellas y como se afectan a la población local.

Figura 3.5: Complejo Industrial Ventanas

Fuente: Comisión de Recursos Naturales Bienes Nacionales y Medio Ambiente (2011)

En los años 2012 y 2013, se presentaron nuevos casos de intoxicación lo cual claramente dañan a los niños en los centros educativos y vulnera, no solo la vida y la salud de ellos, sino que también su derecho a la educación.

También han ocurrido otros casos de contaminación en la Bahía, como fue el caso que en el año 2008 se encontraran varamientos de Carbón en las playas de Quintero. Se ha encontrados que entre los años 2008 y 2014 han ocurrido 50 casos de varamientos de Carbón. Al quedar el carbón botado en el borde costero, genera contaminación en el mar del balneario. Este material que es transportado para las termoeléctricas no es acopiado en

lugares apropiados, por lo cual queda descubierto y es dispersado por el viento.

En Septiembre del año 2014, ocurre un derrame de petróleo en la Bahía de Quintero, el cual afectó varios kilómetros de costas de las comunas de Puchuncaví y Quintero. El crudo fue derramado desde un barco abastecedor, luego de que se desataran amarras de contención. En un principio la Enap estimó que el derrame se trataba de alrededor de 3 mil litros, sin embargo, con el tiempo se tuvo que corregir este dato, y se oficializó que la verdadera cantidad de petróleo que estuvo en el derrame fue de aproximadamente 22 mil litros del crudo.

Este episodio tuvo grave consecuencias para los habitantes de la zona, puesto que se decretó el cierre las playas afectadas y la prohibición de extracción de cualquier producto marino hasta que se normalizara la situación. Los habitantes de Puchuncaví y Quintero han manifestado su descontento ante esta realidad hacia sus autoridades, y se ha pedido que se generen nuevas políticas públicas respecto a la situación en la que vive esta gente.

Sin embargo, en Agosto del año 2015 se vive un segundo episodio de derrame de Petróleo en la Bahía de Quintero, lo cual ha prendido las alarmas en el país para poder medidas para que este y otros casos de contaminación no vuelvan a ocurrir.

Al realizar una búsqueda bibliográfica de los estudios que se han realizado en la Bahía de Quintero podemos encontrar “Contaminación del Mar y el Futuro de la Pesca en Chile” (Chiang, 1998); “Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile” (Cañete et al., 2000); y “Spatial distribution of copper and pH in soils affected by intensive industrial activities in Puchuncaví and Quintero, central Chile” (González et al., 2014), en donde se indica que la bahía de Quintero y alrededores sufre una contaminación crónica de metales pesados.

Sin embargo, ninguno de estos estudios fue realizado por el Estado de Chile, y dado

los lamentables hechos ocurridos en este último tiempo, es que en el año 2013 el Ministerio de Medio Ambiente hiciera el informe de "Análisis de Riesgo Ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví"[21]. En el estudio se confirman datos generales indicados en estudios anteriores, es decir, es el propio Estado quien emite un estudio confirmando la presencia de metales pesados en agua, flora y fauna marina de la bahía.

En la tabla 3.7 se muestra un resumen de todos lo sucedido en la Bahía de Quintero, desde la inauguración del Complejo Industrial de Ventanas en 1961.

Tabla 3.7: Acontecimientos ocurridos en la Bahía de Quintero

N	Año	Acontecimiento
1	1961	Inauguración de Parque Industrial Ventanas
2	1964	Inauguración de la fundición y refinería de Enami, hoy en día de Codelco
3	1964	Instalación de la primera Central Termoeléctrica a carbón: "Ventanas I", hoy en día propiedad de Aes Gener
4	1977	Entra en operación la segunda Cental Termoeléctrica a carbón: "Ventanas II", hoy en día propiedad de Aes Gener
5	1987	Se aprueba el Plan Regional el cual permitió la expansión del uso de tierra y la entrada de nuevas industrias
6	1992	Se aprueba el primer Plan de Descontaminación (MP_{10} y SO_2)
7	1993	Se decreta Zona Saturada de Contaminación (Por MP_{10} y SO_2)
8	2010	Se aprueba Central Termoeléctrica de Campinche
9	2011	Intoxicación de 30 personas en Escuela La Greda
10	2014	Se registran más de 50 casos de varamientos (del 2008 al 2014)
11	2014	Entra en vigencia la Norma de Emisión de Termoeléctricas
12	2014	Primer Derrame de Petróleo en la Bahía de Quintero
13	2015	Se decreta Zona Saturada de Contaminación (Por $MP_{2,5}$ y latencia de MP_{10})
14	2015	Segundo Derrame de Petróleo en la Bahía de Quintero
15	2015	Plan de Descontaminación Atmosférica ($MP_{2,5}$ y MP_{10})

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se menciona en Godoy et al. (2013), si bien las relaciones y dinámicas entre los habitantes agrupados bajo diversas organizaciones, y las industrias no han seguido una continuidad histórica, sus objetivos no han sido los mismos y muchas de las veces se han caracterizado por emerger de manera reactiva frente a eventos críticos de contaminación, ello no implica necesariamente que los conflictos se diluirán en el tiempo, puesto que la

[21] Ver en Centro de Ecología Aplicada (2013)

dependencia laboral en forma directa o indirecta de la comunidad para con las empresas que provocan niveles intolerables de contaminación genera un sistema interrelacionado de vulneración permanente a los derechos humanos. Por el contrario su estructuración como conflicto socioambiental parece no ceder desde el año 2005 (época de oposición a la instalación de un depósito de residuos tóxicos de Oxiquim), puesto que actualmente existe una imposibilidad de justificar bajo criterios jurídicos, sociales o culturales la insustentabilidad del territorio, y con ello la profunda afectación a la calidad de vida de los habitantes de la zona a la que han condenado empresa y Estado.

En el año 2014, el Gobierno desarrolla la "Estrategia Naconal de Descontaminación Atmosférica 2014-2018", en donde se actualiza el plan de descontaminación que se encontraba vigente. Un año más tarde, se aprueba este nuevo plan, el cual tiene por objetivo recuperar la calidad del aire que se presenta saturada por $MP2,5$, a fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Sin embargo, este plan apunta a regularizar a las industrias emisoras de material particulado, para que adopten mejores prácticas operacionales en el acopio, almacenamiento, manipulación y transporte de partículas sólidas, como también controlar las emisiones de partículas y gases de los procesos de combustión de acuerdo a la mejor tecnología disponible.

Los planes de descontaminación realizados en Chile tienen un enfoque conservador, pues solamente se preocupan de controlar y regularizar a las industrias para que tomen medidas con respecto a las emisiones que liberan al ambiente. Pero no se preocupan de buscar nuevas alternativas para lograr disminuir la contaminación, ni han considerado la opinión de las comunidades afectadas. De aquí emerge la necesidad de reorientar la toma de decisiones de las autoridades, haciendo partícipes a las comunidades locales y modificando los actuales enfoques que tienen los planes de descontaminación, para que tengan un cambio sustancial para mitigar la contaminación ambiental.

3.3. Contexto energético de Chile

En las últimas décadas el consumo energético ha ido creciendo, de tal manera que alcanza un ritmo aproximado del 1,8 % anual. El impacto del crecimiento económico y del crecimiento demográfico (que se espera que tengan una media anual del 3,1 % y el 1 %, respectivamente) se verá equilibrado por una disminución anual de la intensidad energética del 1,2 %, como consecuencia del efecto combinado de los cambios estructurales en la economía, los avances tecnológicos y el incremento del coste de la energía. Los países industrializados experimentarán una ralentización del crecimiento de su demanda energética, que pasará a situarse a un nivel cercano al 0,4 % al año en la UE. A la inversa, la demanda energética de los países en vías de desarrollo crecerá rápidamente. Se espera que en 2030, más de la mitad de la demanda mundial de energía se origine en estos países (Actualmente, representan el 40 %). Sin embargo, este crecimiento trae consigo una alta dependencia de los agentes generadores de energía, y un ambiente de inestabilidad debido a la volatilidad de los precios por parte de los principales productores de energía, y ante la escasez de los recursos fósiles, como el petróleo. Ante dicho escenario, se realizan distintos esfuerzos a nivel mundial, con el fin de manejar de mejor manera los recursos, de modo de disminuir la intensidad energética en los procesos y servicios. (Comisión Europea, 2000)

Chile es un país absolutamente dependiente de la energía, ya que su economía depende de gran parte de lo que pueda producir por la Industria, Minería y Transporte (que ocupa el 69 % de la energía total, tal como se puede apreciar en la figura 3.6).

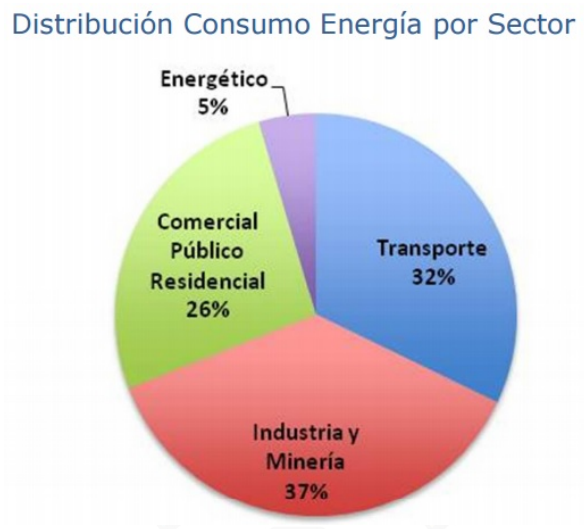


Figura 3.6: Distribución Consumo Energía por Sector

Fuente: Malebran (2013)

Es por esta razón que debe abastecer sus necesidades energéticas, por lo tanto debe necesitar de ingentes importaciones de recursos primarios. En la figura 3.7, se puede observar el consumo per cápita de Chile, en comparación con el resto del mundo.

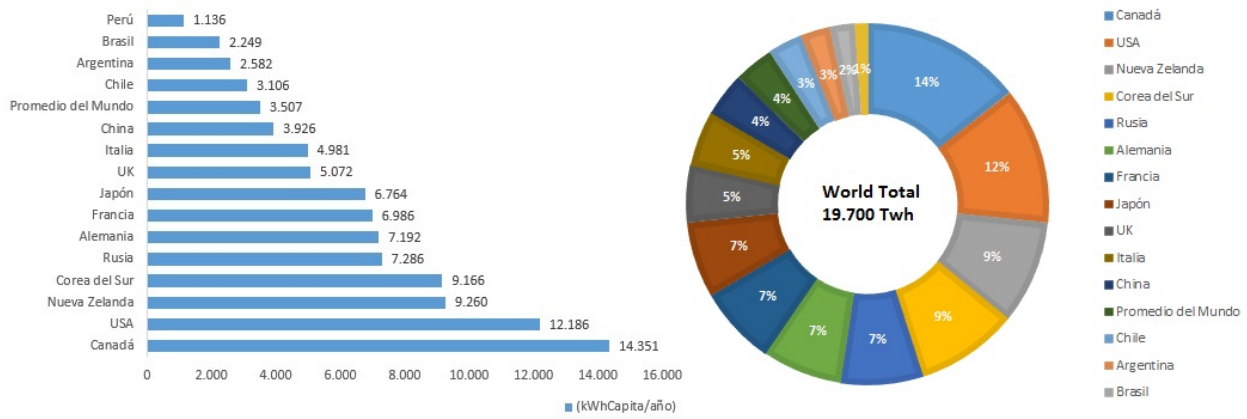


Figura 3.7: Consumo Eléctrico per cápita por país

Fuente: International Energy Agency.

Por otro lado, en el gráfico circular de la figura 3.7, se muestran algunos de los países con mayor consumo energético en el mundo. Se puede apreciar como Chile ocupa el primer lugar en los países de latinoamérica en la demanda energética (a fecha de 2014). Estos datos aclaran el porqué de la necesidad que tiene Chile de importar recursos para abastecerse.

Chile es un país altamente dependiente de energías de origen fósil ya que su matriz energética primaria, según balance del año 2014 del Ministerio de Energía, depende en un 72 % aproximadamente de petróleo crudo, carbón y gas natural.

El uso energético en Chile está aumentando, y ante este escenario es primordial poder lograr ahorros sostenibles en el tiempo, en materia energética. Ya sea en el sector industrial, de transporte, educacional, de salud y en los hogares.

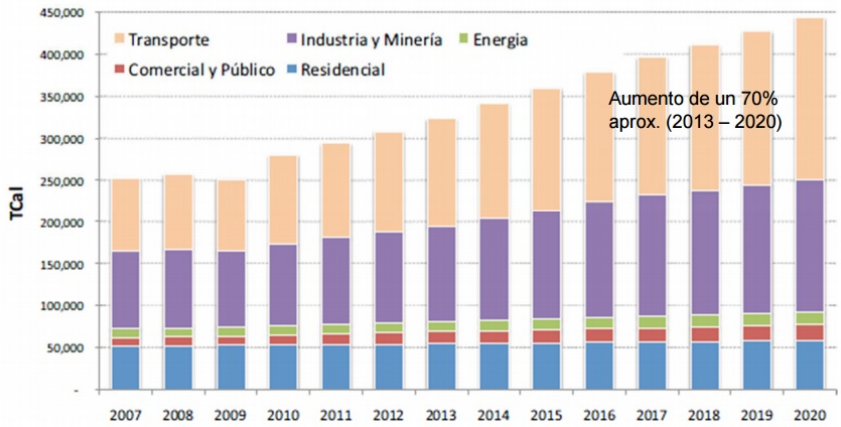


Figura 3.8: Proyección de consumo total de Energía por sector en el período 2007-2020
Fuente: Malebran (2013)

Como se puede apreciar en la figura 3.8, hay un aumento cercano al 70 % en la demanda energética del 2013 al 2020, lo cual es una clara señal de que se deben tomar medidas al respecto para poder abastecer esta cantidad de energía. Este gran inconveniente, que es la necesidad de tener que importar fuentes energéticas del exterior para poder suplir las necesidades de la población, ha obligado a Chile a adoptar una política energética en la que primaba la generación eléctrica de forma masiva, buscando la producción eléctrica con la mayor eficiencia y el menor ratio de costo/producción posible.

Es por esta razón que tecnología como la solar, eólica e hidráulica no fueron incorporadas para constituir la matriz energética en años anteriores, sin embargo, ante el problema de que los recursos fósiles se están agotando, es que el país ha adoptado por la política de ir diversificando el mix energético en su producción, por lo que han ido tomando relevan-

cia las energía renovables no convencionales en la matriz energética.

Según la EIA[22], en la matriz energética de Chile, entre 1980 y 2010, la generación vía combustibles fósiles pasó desde un 37 % a un 61 %; mientras la energía generada vía hidroelectricidad bajó su participación desde un 62 % a 33 %. En el mismo periodo la participación de las ERNC aumentó de un 1 % a un 6 %.

En la Figura 3.9 se muestra la evolución de la energía eléctrica generada en Chile desde el año 1999 al año 2013. En el año 2005 se observa una fuerte disminución de generación a partir de gas natural, el cual se ve contra restado por un aumento de la presencia de centrales a carbón como respuesta. Es importante destacar que a partir del año 2007, Chile empieza a generar energía a partir de recursos eólicos, en tanto que para el 2012 comienza la participación de las centrales solares.

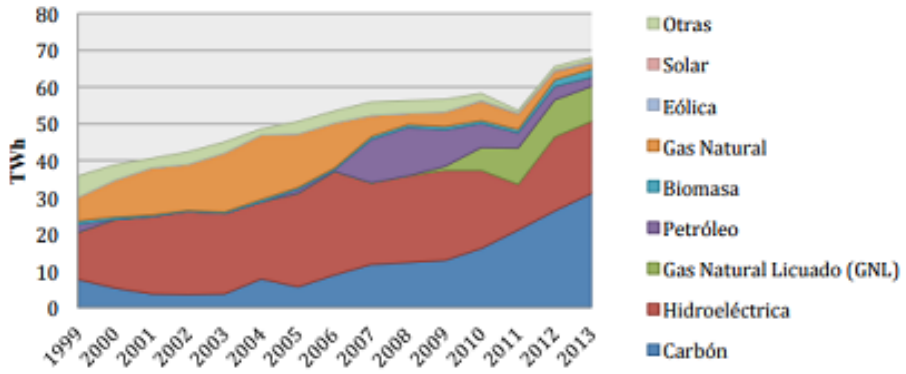


Figura 3.9: Evolución Matriz Energética de Chile de 1999 a 2013

Fuente: CNE.

Para el año 2014, entre el SING y el SIC se tiene una potencia instalada de 18.871 MW. Los porcentajes y potencia instalada por tecnología se presentan en la Figura 3.10:

[22]Información Obtenida en: http://www.cne.cl/estadisticas/electricidad/

Materia Prima	Potencia Total (MW)	Fracción del total (%)
Hidráulica Embalse	4.034	21,4
Gas Natural	3.988	21,1
Carbón	3.541	18,8
Petróleo Diesel	2.582	13,7
Hidráulica Pasada	2.356	12,5
Eólica	832	4,4
Biomasa	398	2,1
Solar	271	1,4
Otros	869	4,6
Total	**18.871**	**100**

Figura 3.10: Capacidad Instalada SIC-SING a Diciembre del 2014

Fuente: CNE.

En tanto la energía eléctrica suministrada para el 2014, la participación de las tecnologías ha ido cambiando debido a la diferencia de los costos variables y a la disponibilidad de los recursos entre estas tecnologías. La energía total generada para este año fue de 69.895 GWh, con un 74,7 % proveniente del sistema interconectado central, y el 25,3 % restante es inyectado en el SING.

Materia Prima	Energía Generada (GWh)	Fracción del total (%)
Carbón	28.892,80	41,3
Hidráulica Embalse	13.091,70	18,7
Hidráulica Pasada	10.418,60	14,9
Gas Natural	10.027,60	14,3
Biomasa	2.716,40	3,9
Petróleo Diesel	2.542,30	3,6
Eólica	1.411,30	2,1
Solar	458,7	0,7
Otros[2]	329,3	0,5
Total	69.888,70	

Figura 3.11: Energía Generada SIC-SING para el 2014

Fuente: CNE.

Como se puede apreciar en la Figura 3.11, cerca de un 60 % de la energía en Chile es producida a partir de combustibles fósiles, y la otra gran parte de energía es aportada por las centrales hidroeléctricas, ya sean de pasada o de embalse.

3.4. Proyección energética en Chile

Chile hoy en día se enfrenta al desafío de generar las condiciones adecuadas para alcanzar el desarrollo. Es por esto que se creó la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030. Esta estrategia, tomando en cuenta la taza de crecimiento de la economía chilena (6.3 % en el año 2011), prevé que se necesitará mayor energía, por el natural acoplamiento entre economía y energía. Es por esto que Chile necesita contar con los recursos energéticos suficientes y competitivos para permitir que el desarrollo económico siga aumentando. En la figura 3.12 se observa la proyección en la demanda energética que tendrá Chile para los próximos años.

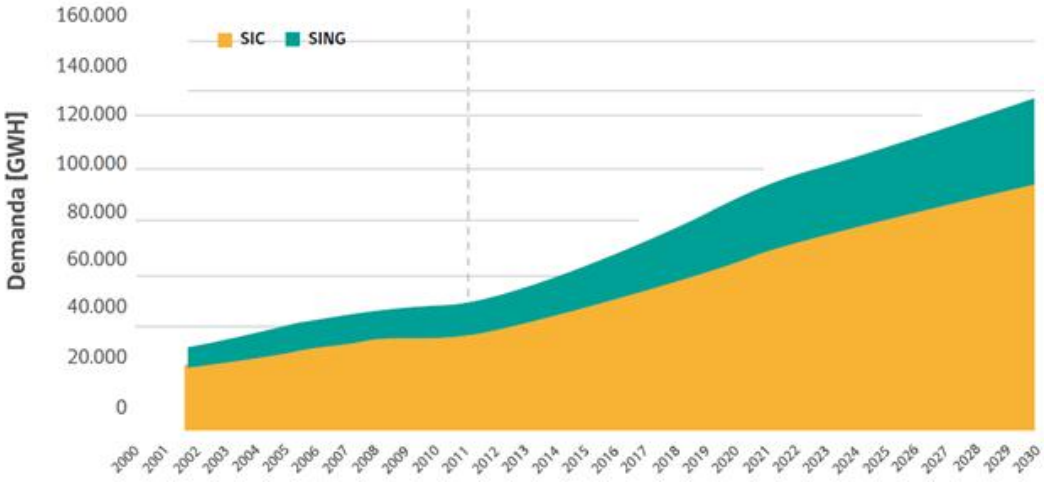


Figura 3.12: Proyección de la demanda de energía hasta el año 2030

Fuente: Del Campo (2012)

La producción bruta de energía para el año 2011 fue de 46.095 GWh, teniendo un crecimiento del 6,8 % con respecto al año 2010. Para el SIC y 15.878 GWh para el SING, teniendo un crecimiento del 5,2 % con respecto al año 2010. Para el año 2020 se proyecta un crecimiento del consumo eléctrico en torno al 6 a 7 %, esto significa un aumento de casi 100.000 para ese año, lo que requerirá aumentar la oferta de energía en más de 8.000 MW en proyectos nuevos de generación.

Esta energía debe, además de satisfacer la demanda, ser de menor precio al actual para disminuir los precios de la energía para los usuarios finales, así como también en la

Estrategia Nacional se incentiva el uso de energía renovable no convencional. Y analiza diversas opciones para satisfacer la futura demanda de energía de forma segura y estable, entre las cuales se discute el tema de la interconexión eléctrica regional con otros países de América del Sur.

Además de ello, la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030 se basa en seis pilares fundamentales para tener un camino energético futuro más estable, éstos son: eficiencia energética, energías renovables no convencionales, energías tradicionales, carretera eléctrica, competitividad del sector y la interconexión regional. Esto con el fin de poder crear una conciencia en las personas para poder reducir el consumo en los hogares mediante productos más eficientes, o poder incentivar a realizar inversiones en nuevas tecnologías que ayuden al país a disminuir su dependencia del exterior, y obligar a las grandes empresas del sector a cumplir las exigencias regulatorias de la Ley 20/25, la cual establece que el 20 % de la energía contratada al año 2025 debe provenir de ERNC.

La incorporación de las energías renovables no convencionales se está realizando de manera paulatina en Chile, esto se debe a los enormes recursos naturales que se tienen para poder extraer energías limpias, ya sea por la radiación solar en el Norte de nuestro país, los recursos hídricos presentes en el Sur, y los vientos que corren tanto por la costa como en el mar a lo largo de Chile.

A continuación se presenta una mapa energético de Chile, en donde se presencia el real potencial que se tiene tanto a nivel Eólico, Hidráulico (Figura 3.13), Solar, Geotérmico (Figura 3.14), Biomasa y Mareomotriz (Figura 3.15)[23]

[23]Información obtenida en: https://sistemasdelaenergia.wordpress.com/3-mapas-energeticos-de-chile/3-6-potencial-energetico/

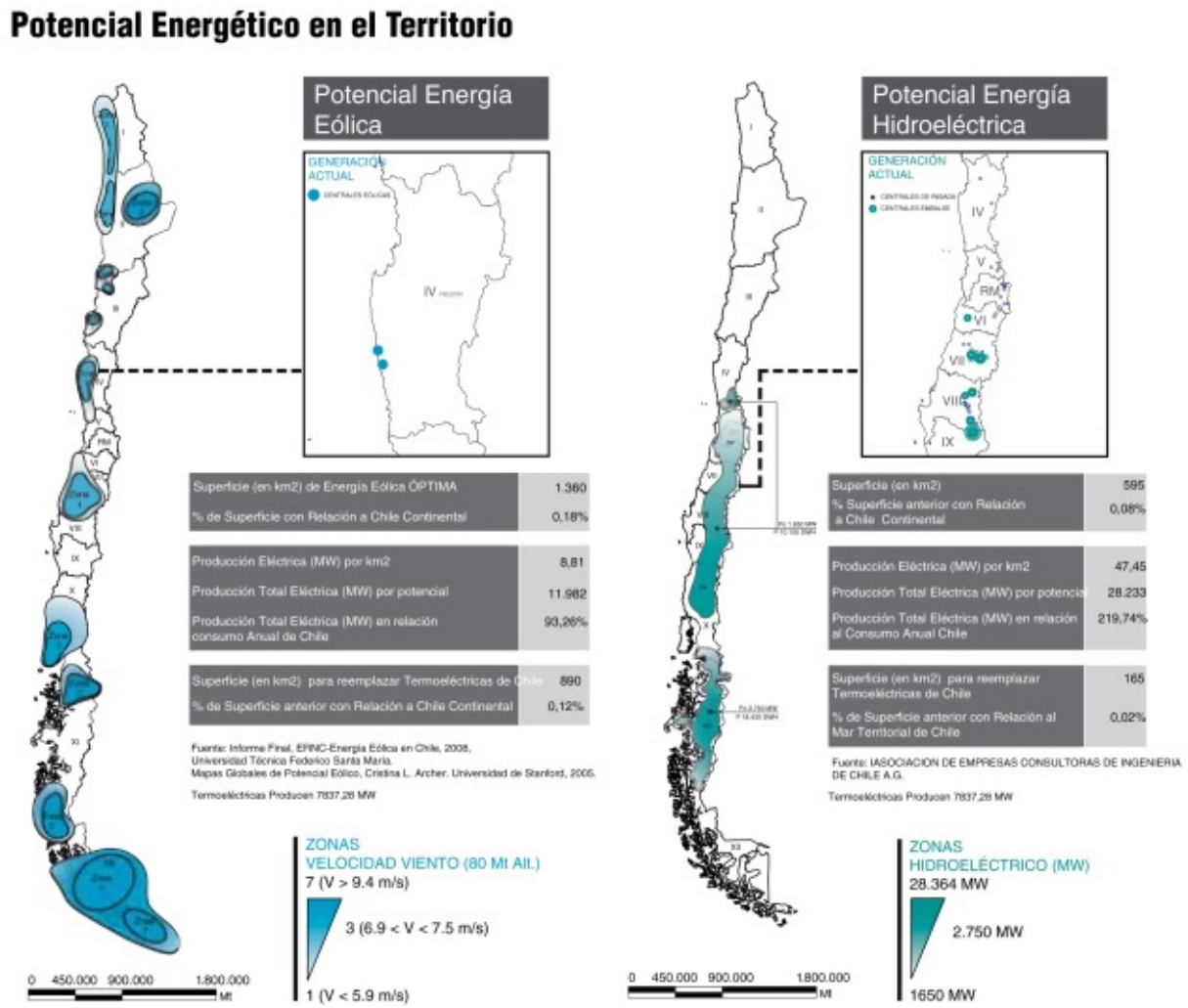


Figura 3.13: Mapa Energético Eólico e Hidráulico de Chile

Fuente: Mapas Energéticos de Chile , p.162.

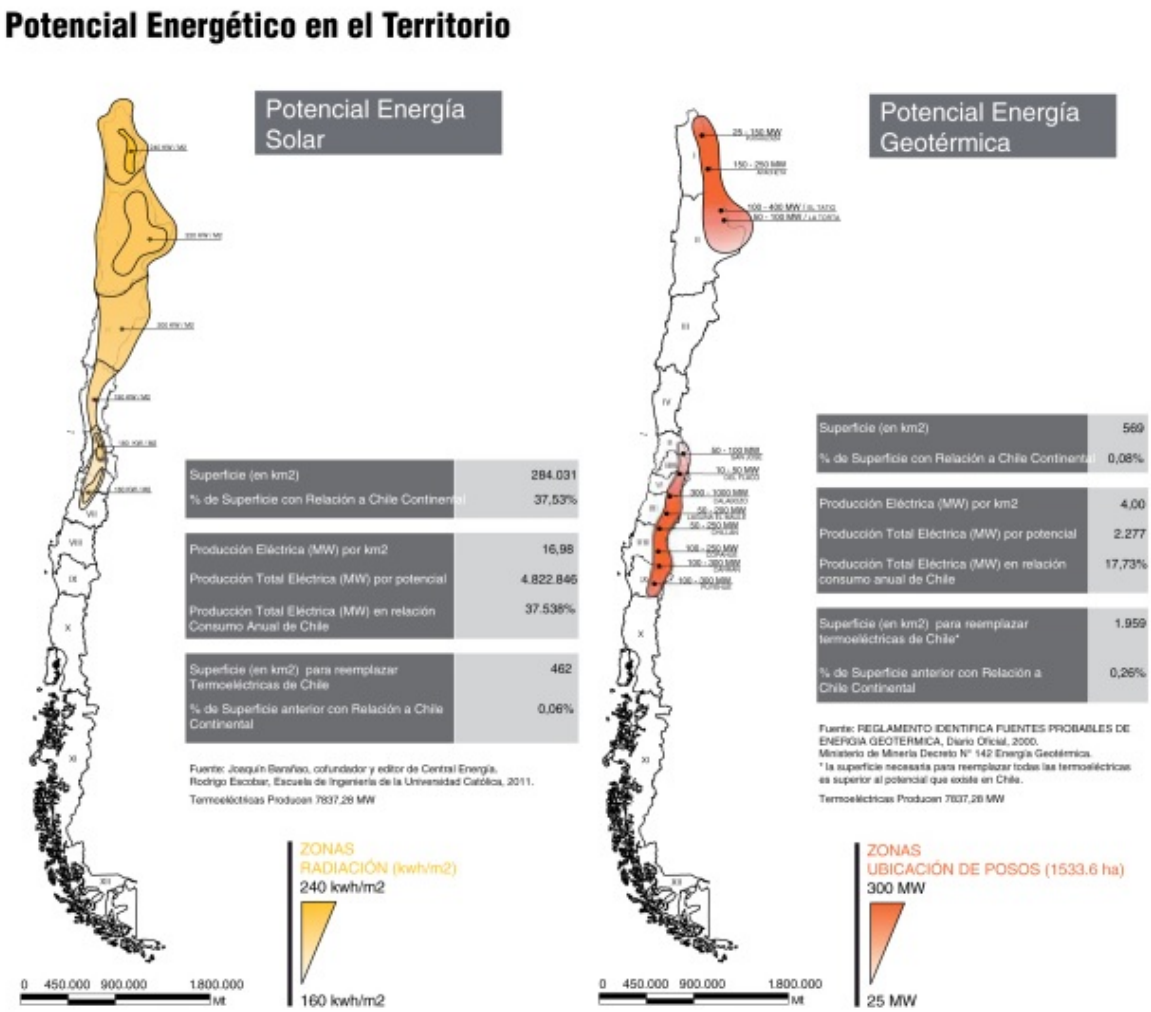


Figura 3.14: Mapa Energético Solar y Geotérmico de Chile

Fuente: Mapas Energéticos de Chile , p.163.

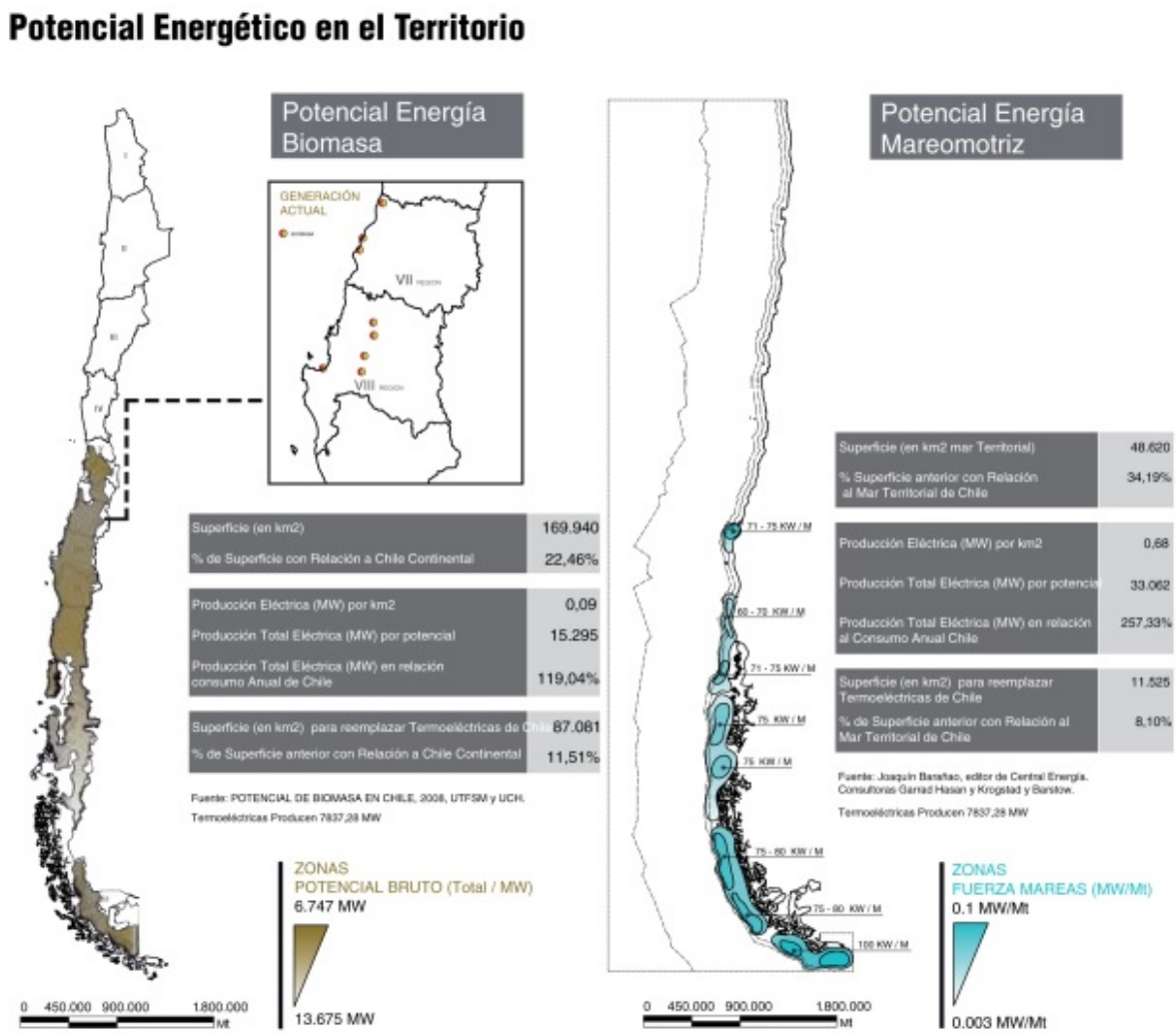


Figura 3.15: Mapa Energético Biomasa y Mareomotriz de Chile

Fuente: Mapas Energéticos de Chile , p.164.

3.5. Proyección energética renovable en Chile

En la actualidad existe una preocupación especial por parte de la ciudadanía de cómo emigrar hacia una matriz energética sustentable.

Es por esta razón que se han impulsado leyes que favorezcan la utilización de ERNC. En abril de 2008, se aprobó la ley 20.257 denominada la Ley ERNC, la cual establecía que las empresas eléctrica del SIC y el SING, debían certificar que cierto porcentaje de sus ventas anuales de electricidad, provenían de fuentes de generación ERNC. Esta obligación es de un 5 % entre el 2010 y el 2014, y luego aumenta un 0,5 % al año, para llegar a un 10 % el año 2024. La ley contempla también una multa a las empresas por no cumplimiento, que asciende a 0,4 UTM por cada MWh de ERNC que no hayan inyectado, y si dentro de tres años se persiste con el incumplimiento, la multa aumenta a 0,6 UTM (Urzúa Manchego et al., 2014).

Le ley 20/25 modifica la Ley 20.257, con el fin de cambiar los objetivos de de la obligación en términos de proveer parte mix energético de generación eléctrica ERNC. A continuación se presenta una cuadro comparativo (Figura 3.16) entre ambas leyes.

Concepto de Comparación	Ley 20.257 (Ley ERNC)	Ley 20/20
Meta de ERNC de generación en sistema	10%	25%
Año de Vigencia Plena	2024	2025
Contratos Afectos	Solo Contratos Nuevos	Contratos Nuevos y Antiguos
Situación de Multa	Pago de Multa extingue obligación del año respectivo	Se debe pagar multa y además el año siguiente se debe inyectar la ERNC pendiente
Ley de inyección de ERNC	Independiente del lugar de retiro	Al menos un 50% debe acreditarse en el sistema donde se realizará el retiro de energía
Medidas Adicionales		Licitaciones de bloques de energía y registro de transacciones de CER

Figura 3.16: Comparación Ley 20.257 y Ley 20/25

Fuente: Elaboración Propia

Además de lo anterior la Ley 20/25 establece que los retiros vinculados con contratos adoptados después del 01/07/2013, su obligación será de un 5 % para el año 2013, incrementándose en un 1 % anual a partir del año 2014 hasta alcanzar un 12 % en el año 2020.

A partir del año 2021, se aumentará el crecimiento en un 1.5 % hasta alcanzar un 18 % para el año 2024 (Olmedo y Clerc, 2013). Para finalmente incrementar en un 2 %, para alcanzar en el año 2025 un 20 % de ERNC. Lo anterior se puede apreciar en la figura 3.17, dentro del cual también se observar el crecimiento que se tendría con la Ley 20.257[24].

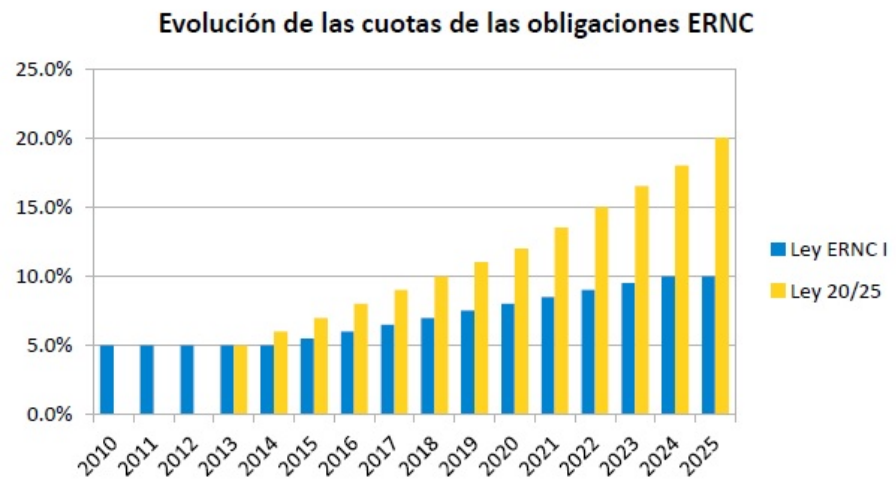


Figura 3.17: Comparación Ley 20.257 y Ley 20/25

Fuente: Central Energía

En el mes de abril del 2016 fueron declarados en construcción 47 proyectos de energías renovables no convencionales (ERNC), dentro de los cuales se prevé que entrarán en operación entre mayo del 2016 y agosto del 2018.

La capacidad instalada de ERNC asciende al 12,23 % (2.516 MW), con un casi 90 % interconectado al Sistema Interconectado Central (SIC).

En tanto que la inyección de centrales ERNC a la matriz durante el último mes del año 2015 fue de 651 GWh, lo cual corresponde a un 11,07 % de la generación total. El desglose de la inyección queda distribuida en 162 GWh de tecnologías solares, 153 GWh a partir de bioenergía, 117 GWh eólicos y 85 GWh de centrales mini hidráulica de pasada.

[24]Información Obtenida en: http://www.centralenergia.cl/2012/02/06/matriz-energetica-la-ceguera-del-proyecto-de-ley-2020/

A continuación se presenta la Tabla 3.8, la cual representa los estados de los proyectos ERNC, a mayo del 2016:

Tabla 3.8: Estados de Proyectos ERNC

Tecnología	Operación [MW]	Construcción [MW]	RCA Aprobada [MW]	En Calificación [MW]
Biomasa	417	0	112	47
Biogás	53	0	8	0
Eólica	947	421	6.500	1.647
Geotermia	0	48	120	0
Mini Hidro	433	25	455	85
Solar - PV	1.113	2.011	11.549	5.805
Solar - CSP	0	110	980	925
Total	**2.963**	**2.614**	**19.724**	**8.509**

Fuente: CNE., SEIA, CDEC-SIC / CDEC-SING, CIFES, Mayo 2016.

Los proyectos de ERNC que se encuentran en construcción representan la misma proporción de la capacidad instalada que actualmente se encuentran en operación. Mientras tanto, existe una gran cantidad de proyectos que están en resolución de calificación ambiental (RCA), los cuales de aprobarse aportarán un significativo avance en los desafíos de fomentar las energías limpias.

En la actualidad existe una potencia instalada en base a tecnologías ERNC, al 30 de abril del 2016, de un total de 2.516 MW, los cuales el 88,64 % (2.230 MW) se ubican en el SIC, en tanto que un 10,31 % (260MW) están conectados al SING, y los 1,05 % restantes (26 MW) se encuentran en el Sistema Eléctrico de Aysén.

En la Figura 3.18 se representa lo anteriormente mencionado:

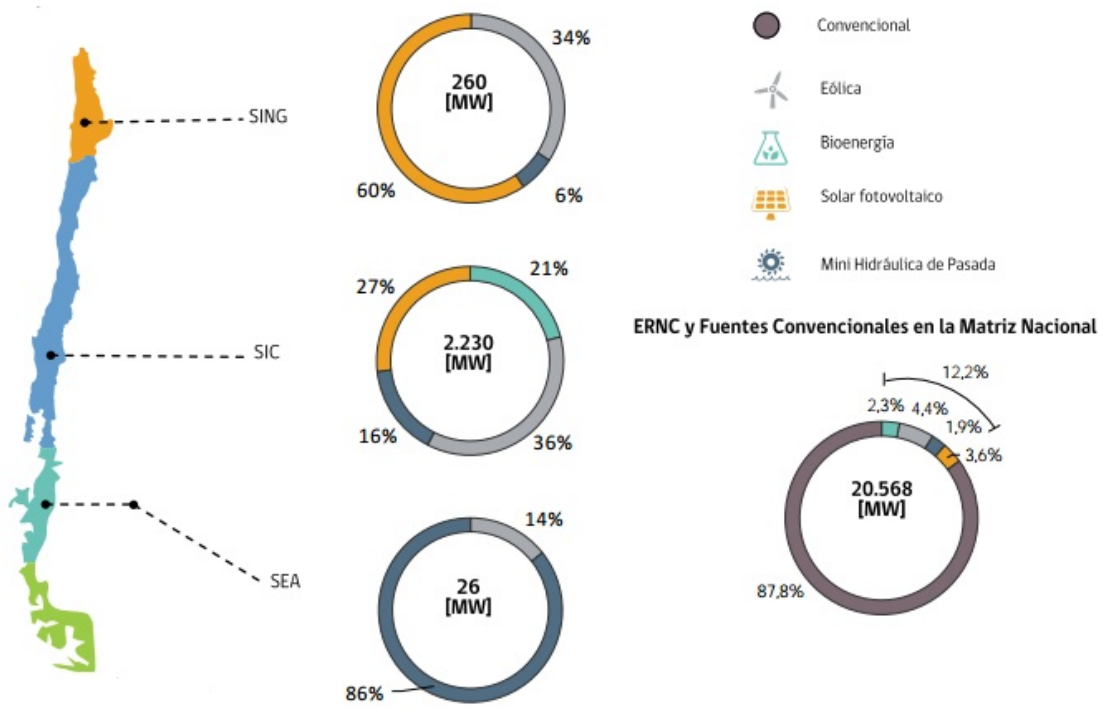
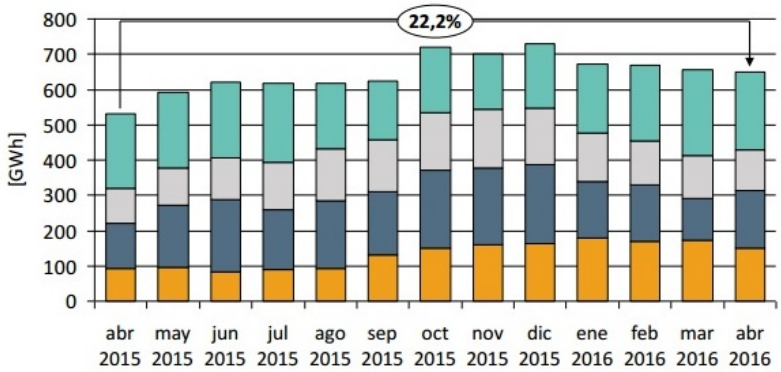


Figura 3.18: Capacidad Instalada, a Abril 2016

Fuente: CDEC-SIC / CDEC-SING y CNE

Además se puede apreciar la matriz nacional de capacidad instalada de Chile, en donde se puede apreciar el aporte de las ERNC (12,2 %) y el de las fuentes convencionales (87,8 %).

Para la generación eléctrica durante el mes de abril de 2016, se registró un total de 5.879 GWh, de los cuales 651 GWh son atribuibles a la producción de las centrales de ERNC. Al analizar por tecnología, se observa que un 31,22 % (203 GWh) de la energía sustentable fue de biomasa, seguidos por un 25,16 % de generación eólica (164 GWh) y un 22,96 % (149 GWh) de generación solar, y una menor proporción fue inyectada por centrales mini hidro (17,59 % - 114 GWh) y biogás (3,08 % - 20 GWh). En la Figura 3.19 se resume lo anterior:



Variación Generación

Generación Bruta [GWh]		Mensual		Anual
ERNC	651	↓	-0,6%	↑ 22,2%
Convencional	5.228	↓	-9,2%	↑ 1,2%
Total	5.879	↓	-8,4%	↑ 3,1%

(*) La generación eléctrica contempla todas las centrales que son clasificadas como ERNC según la ley 20.257.

Figura 3.19: Evolución de Generación Bruta de Energía Eléctrica ERNC

Fuente: CDEC-SIC / CDEC-SING y CNE

Al analizar el cumplimiento de las actuales leyes de generación de ERNC, se puede observar (Figura 3.20) que se está por encima de la obligación de la ley.

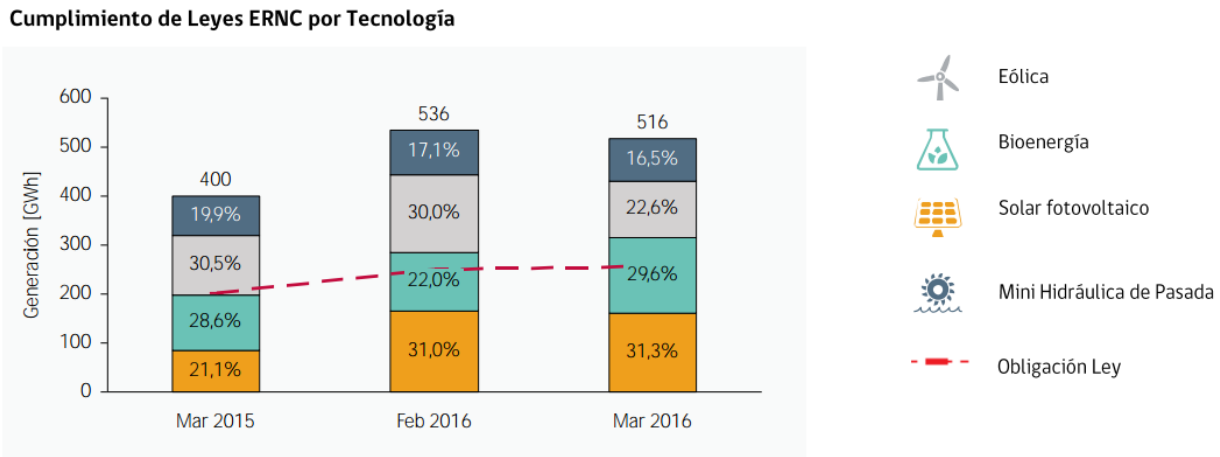


Figura 3.20: Cumplimiento de Leyes de ERNC por tecnología

Fuente: CDEC-SIC / CDEC-SING y CIFES, Mayo 2016

Dados los datos presentados anteriormente, se espera una proyección favorable para las energías renovables no convencionales (ERNC) en Chile, pues se están haciendo grandes esfuerzos para fomentar el uso de estas tecnologías.

Hoy se busca aprobar un proyecto de Energía 2050, para que Chile pueda tener una política energética para el largo plazo validada por la participación social. La idea de este proyecto es que para el año 2050, Chile tenga una matriz energética casi en su totalidad por energías renovables (gran parte por ERNC), y así dejar como respaldo las energías convencionales en nuestra Matriz Energética.

3.6. Energía eólica offshore a nivel mundial

La energía eólica es una fuente de energía producida por la transformación de la energía cinética contenida en el viento. El viento se produce por diferencias de temperatura entre distintas masas de aire en la atmósfera terrestre la cual es calentada por el sol, es por esto que a la energía eólica se le considera un forma indirecta de energía solar.

La energía eólica como fuente de energía no produce emisiones durante su operación y consiste en turbinas que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica

y esta a su vez se transforma en energía eléctrica mediante un generador.

El beneficio principal es el desplazamiento de generación con centrales que utilizan combustibles fósiles, pues la generación eólica está libre de emisiones de gases. Si se considera el desplazamiento de generación por una central de Carbón, la generación eólica estaría mitigando, por cada MWh producido, la emisión de 0,9 toneladas de CO_2. (Moreno et al., 2006).

El sector de la energía eólica offshore debe ser considerado como un segmento diferenciado de la industria eólica terrestre puesto que, aunque comparte muchas características con la misma, de cuya experiencia y madurez se nutre, ha cobrado entidad propia desde el punto de vista tecnológico, económico y regulatorio. El principal sector de referencia para la eólica offshore es el sector "Oil & Gas", que gracias a sus años de investigación, desarrollo e implantación de instalaciones altamente complejas en alta mar ha conseguido desarrollar tecnologías y metodologías, sobre las cuales se pueden establecer unas claras sinergias.

Tal como se menciona en Allende y Carlos (2014), la eólica offshore es una industria relativamente joven, ya que el primer parque eólico marino fue inaugurado en 1991 en Vindeby (Dinamarca), a una distancia de 2,5 km de la costa. Hasta el año 2001, y, especialmente, hasta el 2007 no se observó un verdadero crecimiento de este tipo de instalaciones. A partir de entonces se han construido parques mayores, con máquinas de mayor potencia, instalados en aguas más profundas y a mayor distancia de la costa. Actualmente, el enorme crecimiento registrado en el sector eólico offshore está permitiendo, aunque lentamente, la reconversión del clúster eólico disminuyendo paulatinamente los costes de generación de este tipo de energía, que cuenta además con un recurso de mejor calidad, en tanto que es más constante, más uniforme y sensiblemente más predecible.

La energía eólica marina representa ya un 2 % de la capacidad mundial instalada de producción eólica, según el GWEC, que agrupa a empresas e instituciones del sector.

Más del 90 % se encuentra en el norte de Europa, donde casi 2.000 aerogeneradores están ya en funcionamiento, correspondiente a los países de Reino Unido, Alemania, Bélgica y Dinamarca, tal como se observa en la figura 3.21. Además estos países cuentan con cerca de 70 proyectos que se realizarán en su mayoría alrededor del Mar del Norte. Así la capacidad offshore acumulada en el año 2014 fue de 8.771 MW.

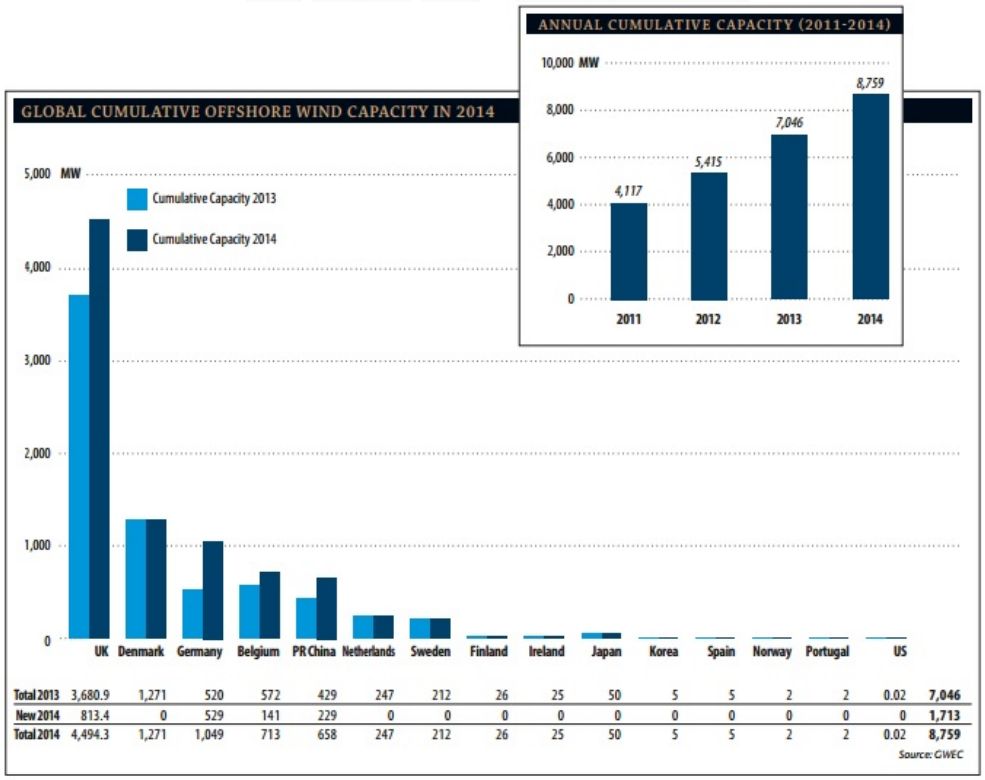


Figura 3.21: Capacidad Offshore instalada a nivel mundial al 2014

Fuente: GWEC (2014)

Esta tendencia se ve reforzada por el impulso a las Energías renovables no convencionales a nivel global, ya que 2014 fue el mejor año en cuanto a la nueva capacidad de estas energías.[25] Pese a la caída de los precios del petróleo en los últimos meses, que pudo desalentar el apoyo a los proyectos de estas energías limpias, para el año 2014 hubo un crecimiento de cerca del 17 % en la inversión de ERNC alcanzando los 270.000 millones de dólares. China, Estados Unidos y Japón son los que más aportaron a las energías renovables para dicho año. Y dentro de las gran tendenecia de las ERNC, la energía eólica offshores es una industria global en auge con inversiones estimadas cercanas a los 15.000

[25] Según Informe de Inversiones del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

millones de dólares anuales para los próximos diez años.[26]

Durante el año 2014 en Europa, la inversión total realizada en el sector de la eólica offshore oscila entre los 5.000 y 7.000 millones de euros (418 turbinas en 22 parques diferentes, unos 1.567 MW) y estas cifras se podrían llegar a multiplicar hasta por 6 o 10 veces, si se cumplen las expectativas de desarrollo que fijan la potencia total instalada sólo en Europa en unos 100 GW en 2030, más aún si tenemos en cuenta que la cifra actual ronda solamente los 6 GW. A partir de esta cifra de 100 GW en los próximos años se puede realizar una estimación de la inversión necesaria, que estaría en el orden de los 430.000 MM US$ y del impacto socio-económico estos niveles de inversión tendrían en Europa. En este contexto, existe una previsión de que el empleo en el sector eólico offshore se multiplique por 5 hasta el año 2030 sólo teniendo en cuenta el impacto de estos 100 GW a desarrollar. Se trata de puestos de trabajo asociados a los trabajos de diseño y fabricación de los equipos (aerogeneradores, cableado, subestaciones, centros de control, etc) y estructuras offshore, pero también asociados a las tareas de instalación, operación y mantenimiento de los mismos, lo que supondrá un importante impacto socio-económico que afecta directamente al empleo.

Por otro lado, es importante destacar que el incremento paulatino de la generación renovable acordado en Europa (de 20 % en 2020 al 30 % en 2030) es actualmente soportado por marcos regulatorios y por políticas específicas tanto a nivel nacional como a nivel comunitario. Esto proporciona un marco de trabajo estable que ha permitido y permitirá la inversión en este tipo de instalaciones de manera que se pueda garantizar el retorno de las mismas y el suministro energético limpio a millones de usuarios por toda Europa.

La energía eólica offshore presenta unas condiciones de viento más favorables que la onshore, lo que implica una mayor producción energética por metro cuadrado de superficie barrida por el rotor (mayor producción específica de energía eléctrica). Respecto a las

[26] Según el Informe de la Consultora de Douglas-Westwood ”World Offshores Wind Market Forecast 2013-2022.”

condiciones terrestre, las eólicas offshores presentan las siguientes ventajas:

- Una menor rugosidad de la superficie del mar respecto a la terrestre.
- Una mayor regularidad y uniformidad de la velocidad del viento.
- El viento tiene menor cizallamiento por lo que la altura del buje puede ser menor.
- El régimen de viento es menos turbulento. Al ser más laminar, la calidad de la energía eléctrica es mayor y también aumenta la vida del aerogenerador.
- Se reducen los problemas asociados al impacto acústico y paisajístico.
- Tiene menos limitaciones para el transporte de grandes aerogeneradores.

En tanto las limitaciones con respecto a la generación terrestre son:

- Costes unitarios de inversión por instalación de 1,5 a 2 veces superiores.
- Mayor coste de cimentación y de interconexión eléctrica.
- Mayores costes de operación y mantenimiento (costes O&M).
- Para alcanzar inversiones viables, se requieren profundidades de la plataforma continental para su instalación que no sean superiores a los 50 metros (Dadas la tecnología actual).
- Tecnologías menos maduras.

3.7. Energía eólica offshore a nivel nacional

Actualmente en Chile, no existen Parques Eólicos Offshore debido a que su tecnología no es tan madura. Es por esta razón que no hay muchos estudios con respecto a esta sección de la energía eólica.

3.8. Diseño del parque eólico offshore

Para el correcto diseño de un Parque Eólico Offshore se deben tener en consideración lo siguiente:

3.8.1. Viento de altamar

El viento es el factor externo más importante en la energía eólica, el viento determina la cantidad de energía que es producida. Una de las características más significativas del viento en altamar, es que la velocidad en promedio es más alta que los vientos en la tierra. La velocidad media del viento aumenta además a medida en que se adentra en el mar. El viento es además una condición externa de diseño, ya que este afecta el diseño de las turbinas.

Origen del Viento

El viento se origina por las diferencias de temperaturas que provoca la radiación solar sobre las distintas partes del planeta. Las diferencias de densidad y presión originadas por estas variaciones de temperatura son la causa del movimiento de las masas de aire.

Variabilidad del Viento

El viento es variable, tanto temporal como espacial. La variabilidad temporal incluye variabilidad en el corto plazo (ventiscas y turbulencias), corto plazo moderado (promedios por hora), diurna (variaciones por día), estival, e interanual; el viento puede variar espacialmente tanto de un lugar a otro como en altitud sobre el nivel del mar.

La distribución de velocidades del viento, es decir, la frecuencia de ocurrencia del viento en varios rangos de velocidad, tienden a ser similar anualmente. La forma general de distribución es también similar de un lugar a otro, incluso si los promedios son diferentes. En la mayoría de los casos de interés energético, la distribución de probabilidad de la

velocidad del viento sigue aproximadamente la función de densidad $p(v)$ de probabilidad de Weibull, la cual tiene la siguiente forma:

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right]$$

En donde:

- v: velocidad del viento (m/s).
- p(v): función densidad de probabilidad de Weibull.
- c: factor de escala (m/s), valor próximo a la velocidad media anual.
- k: factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función p(v).

La figura 3.22 muestra un ejemplo de distribución real de velocidades y la ley de Weibull ajustada.

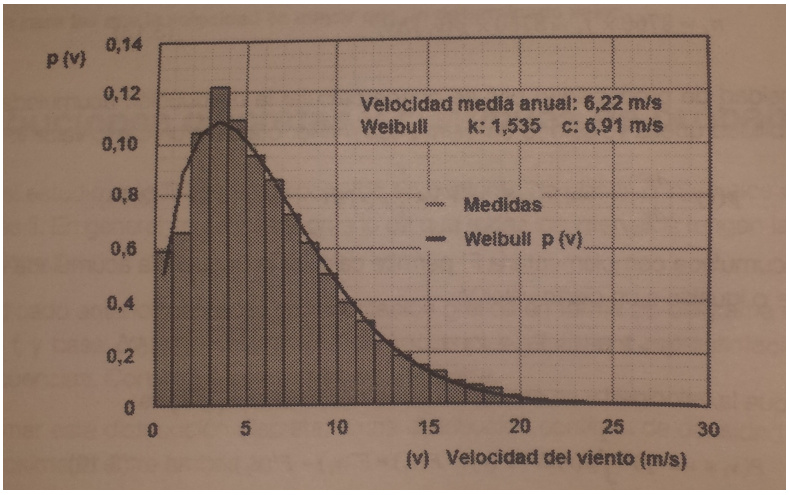


Figura 3.22: Distribución de velocidad del viento durante un año

Fuente: Villarrubia (2012), pp66

Otra manera de presentar los datos del viento es mediante representaciones gráficas. La representación gráfica más usada es la denominada rosa de los vientos (Ver figura 3.23). Ésta consiste en un diagrama polar en el cual se definen para diferentes direcciones o

rumbos distintivos valores relacionados con la velocidad del viento. El número de rumbos, cuyos valores principales se hacen corresponder con los puntos cardinales, acostumbra a ser 8, 12 o 16. El porcentaje de calmas se indica en el centro del diagrama.

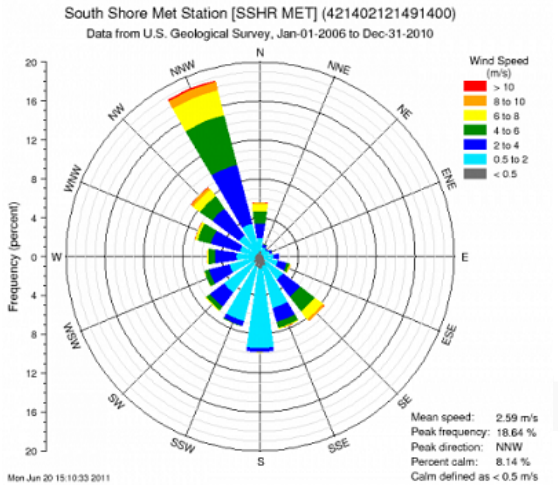


Figura 3.23: Ejemplo Representación gráfica de los datos del viento, mediante la Rosa de los Vientos

Fuente: U.S. Geological Survey

3.8.2. Estructura geológica

A la hora de diseñar un parque eólico offshore, aparte de tener en cuenta el recurso eólico se tiene que tener en cuenta el lecho marino; ya que este estudio determinará qué tipo de cimentaciones instalaremos en nuestros aerogeneradores. Con ello se quiere decir, que los estudios geológico y geotécnicos son bastante importantes.

El estudio geológico lo que pretende conseguir es una primera toma de contacto con la geología de la zona de implantación del parque y la morfología del fondo marino. De esta forma, se optimiza los posteriores estudios geotécnicos y medioambientales, ya que éstos resultan bastantes caros. Para ello, se suele utilizar los siguientes sistemas para analizar la geología del emplazamiento:

a) **Perfilador sísmico**[27]: Consiste en un sistema de exploración geofísica, basado en los principios de la sísmica de reflexión vertical, en el que interviene una fuente sísmica

[27] Información Proporcionada por www.bentos.cl

generadora del frente de ondas acústicas y de uno o varios receptores de la señal reflejada. El SBP obtiene registros de señal acústica de baja frecuencia reflejada en el sub-suelo marino, permitiendo discriminar la interfase entre distintas capas de materiales u horizontes. Se utilizan distintos sistemas de generación de onda y proceso de señal en función de la penetración en el subsuelo marino requerida, el ancho de banda de operación, la resolución espectral y geométrica requeridas y la absorción de señal por el medio acuático y el subfondo explorado.

1) El SBP tipo Boomer está dado por la emisión de ondas sonoras a través del boomer plate con una frecuencia característica hacia el fondo marino, las cuales inciden en las interfases existentes (agua-sedimento, sedimento-roca y entre sedimentos de distintas propiedades acústicas), generando la reflexión de las ondas hacia la superficie del mar donde son recibidas por el receptor streamer. Los SBP tipo Boomer utilizan condensadores electrónicos para descargar alto voltaje a través de una bobina que se contrae produciendo el frente de ondas mecánicas.

2) El SBP tipo Pinger es un sistema perfilador con transductor cerámico como fuente sísmica, compuesto por 4 dispositivos básicos: un transmisor generador de señal, un transductor (o arreglo de transductores), un receptor y un ordenador de control y registro de datos. Este sistema puede obtener mayor resolución que utilizando fuentes boomers con menores niveles de penetración en el subfondo marino. Los SBP tipo pinger utilizan transductores cerámicos. Los transductores cerámicos permiten obtener altas resoluciones con pequeña potencia de salida mediante la modulación de señal con emisores de señal tipo CHIRP.

b) **Sónar de barrido Lateral - SBL (Side Scan Sonar - SSS)**[28]: El Side Scan Sonar es una herramienta muy efectiva para revelar anomalías que sobresalgan del fondo marino y permite detectar estas anomalías a una gran distancia, dependiendo del tamaño de estas, pudiendo abarcar rangos de hasta 200 metros a ambos lados del

[28]Información Proporcionada por www.skyringmarine.cl

trazado de avance. Naufragios, tuberías y rocas de distintos tamaños y hasta neumáticos pueden ser resueltos ajustando correctamente las frecuencias y la altura del transductor sobre el fondo marino.

Los estudios geotécnicos permiten obtener conocimiento detallado de la geología de la zona de implantación, que permita realizar un diseño detallado de las estructuras soporte y de su proceso de instalación. Se tiene varias técnicas atendiendo a sus costes, que son los siguientes[29]

- **Vibrocorer**: Es un sistema mecánico que permite clavar un tubo de muestra en el fondo aplicando vibración y presión sobre el mismo.

- **Draga de Van de Veen**: Permite obtener muestras de sedimentos superficial. El funcionamiento de este sistema se basa en un mecanismo sencillo para la toma de muestra y cierre instantáneo de la cuchara, lo que le confiere una alta eficacia en la toma de muestras de sedimento superficial, minimizando la pérdida de material fino durante el ascenso de la draga a la embarcación a través de un sistema de retención de finos.

- **Piezocono**: Empleado para la determinación de las propiedades del suelo, consiste en el hincado por presión de una punta cónica a una velocidad constante, midiendo la resistencia a la penetración por la punta, la resistencia por fricción y la presión de poros.

- **Sondeo mecánico**: Consiste en la extracción de un testigo de material a través de una perforación de pequeño diámetro, con la que se puede alcanzar grandes profundidades y atravesar cualquier tipo de terreno, desde suelos hasta niveles rocosos o materiales resistentes.

La geología en Chile ha determinado que el lecho marino a muy

[29]Información Proporcionada por www.tecmarin.com

3.8.3. Batimetría

La batimetría es el estudio de las profundidades marinas y de la tercera dimensión de los fondos marinos. Un mapa o carta batimétricos normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como isogramas, y puede también dar información adicional de navegación en superficie. De esta forma, se puede conocer de primera instancia que relieve marino se tiene en el emplazamiento del parque eólico. Esta campaña lo suelen hacer barcos con equipos que representa el relieve marino, para ello necesitan los equipos designados:

- Ecosonda (Multihaz).
- DGPS o sistema de posicionamiento.
- Registrador de movimiento (MRU) y compensador de oleaje.
- Hidrófono (MVS).
- Sincronizador de señales (SPS).
- Software de navegación y procesado de datos.
- Mareógrafo.

Todo estos elementos para reconocer que relieve tiene el emplazamiento, han sido aportado por la Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), que ha facilitado con sus estudios el tipo de batimetría que se tiene en el emplazamiento.

3.8.4. Cimentaciones

Una eólica offshore se trata un parque generador que se ubica fuera de la costa, es decir, se encuentran en el mar a una cierta distancia de la orilla. Para esto, se requiere de una fundación diferente para su suporte en comparación a los parques tradicionales en tierra debido al efecto del oleaje, la corrosión, etc. También, la transmisión de la energía generada al continente adquiere un papel importante en el diseño para tener la mayor confiabilidad y menor pérdida posible, con el fin de que sea sustentable a un corto plazo. De

esta manera, se revisarán principalmente los diferentes tipos de instalaciones según fundación y forma de transmitir la energía a la costa.

Existen de diversos tipos de cimentaciones actualmente:

a) **Monopilote**: Para profundidades inferiores a 30 m. El monopilote tiene un diámetro máximo de unos 5 m y se introduce de 10 a 20 metros del lecho marino. Es la instalación más simple y conveniente para aguas poco profundas, pues no requiere condicionar el lecho marino. Es necesario un equipo de excavación robusto, por lo que es una instalación cara por su difícil manejo. Además requiere una pre-excavación y su sustitución es difícil.

b) **Trípode**: Para profundidades de entre 30 a 60 m. Usada comúnmente para la extracción de petróleo y gas, no para muchas fundaciones eólicas. Es rígida y versátil, y requiere poco acondicionamiento del lecho marino. Sin embargo, no es adecuado para lechos con grandes rocas. Tiene elevados coste de construcción y colocación, y al igual que el Monopolite, tiene una difícil sustitución.

c) **Jacket**: Para profundidades entre 25 a 50 m. Es una estructura de acero de 4 piernas conectadas con tirantes. La producción en serie y su fácil logística lo hace más competitivo, se hace uso de este principalmente para aguas intermedias.

d) **Base De Gravedad**: Para profundidades hasta los 10 m. Es la usada en la mayoría de los parques eólicos, consiste en una gran base de concreto o acero que descansa en el lecho marino y depende de la gravedad para mantenerse en la posición deseada, de ahí el nombre de esta cimentación. Para que las estructuras de acero adquieran mayor peso, es común que se les rellene con el mineral olivino. Esto no es necesario para las bases de concreto, pero estas pueden ser de mayor costo.

e) **Flotante**: Para aguas profundas (Sobre los 100 m). Consiste en una plataforma flotante cerca de la superficie que se mantiene en su lugar por las amarras. Tiene un menor coste que las otras, pues evita la excavación. Sin embargo, no es rígida y

podría sufrir excesivamente por los movimientos de las olas, pero se recomiendan sistemas de control pasivos para tratar de disminuirlos.

En la tabla 3.9 se muestra un resumen de las tecnologías disponibles en el mercado sobre cimentaciones:

Tabla 3.9: Tecnologías de Cimentaciones

Tipo Cimentación	Profundidad [m]
Monopilote	5 - 30
Base de Gravedad	0 - 10
Jacket	25 - 50
Trípode	30 - 60
Flotante	> 100

Fuente: Villarrubia (2012), pp215 ,pag.213.

A continuación se muestra en la figura 3.24 el uso de las diferentes cimentaciones al 2014 de las centrales en funcionamiento:

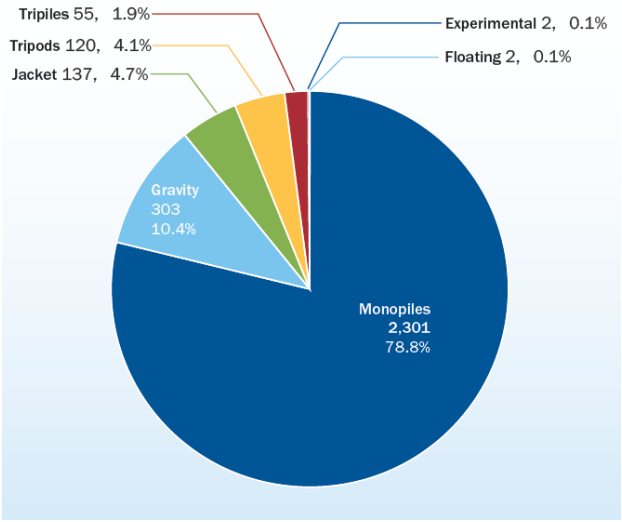


Figura 3.24: Cimentaciones instaladas según tipo tecnología, hasta el 2014

Fuente: Association et al. (2014)

Como se puede observar las cimentaciones más utilizadas actualmente en el mundo son los monopilotes seguidos de las GBS (Gravity base foundation). Esto significa que hay cierta experiencia y madurez en el desarrollo de las tecnologías de cimentaciones para

profundidades menores de 30 m, lo cual beneficia en tanto en cuanto a la seguridad de disponer de una tecnología probada con una cadena de suministro optimizada que aprovecha economías de escala. Si bien, hay que tener en cuenta que la tendencia del mercado no va hacia esas profundidades y se tendrá que seguir muy de cerca la evolución de las tecnologías flotantes (The European Wind Energy Association, 2015).

Las potencias y profundidades recomendada según cada tipo de tecnología de cimentación son presentadas en la figura 3.25:

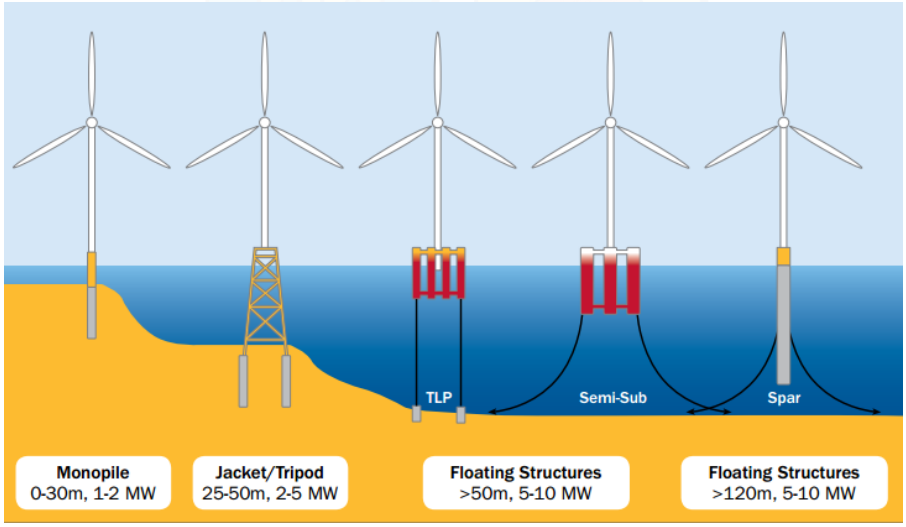


Figura 3.25: Potencia y profundidad recomendada para cada cimentación

Fuente: Parques Eólicos

3.8.5. Aerodinámica de un aerogenerador

El componente más importante de una turbina eólica es el rotor. El rotor es el encargado de extraer la energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica.

Cuando el viento incide sobre el rotor tiene una energía cinética que la turbina eólica no aprovecha en su totalidad, ya que por una parte el viento conserva una cierta velocidad aguas abajo del rotor, es decir, no cede toda su energía cinética y por otra, de la energía que cede el viento al rotor, una pequeña parte se pierde en rozamientos aerodinámicos y mecánicos por lo que la energía final en el eje del rotor es siempre algo menor que la cedida por el viento a los álabes del rotor.

En el eje del rotor se obtiene una potencia (P) capaz de accionar una carga, como un alternador eléctrico o una bomba hidráulica. Este potencia (P) se conoce como potencia en el eje del rotor o potencia al freno de la misma forma que en cualquier otro tipo de motor (turbina de gas, de vapor o motor de combustión interna).

La potencia eólica del viento antes de incidir sobre el rotor se conoce como potencia eólica disponible (P_d). Su relación con la potencia en el eje (P) se establece a través de un rendimiento de conversión o coeficiente de potencia (C_p) definido como la relación entre la potencia en el eje y la disponible del viento según:

$$C_p = \frac{P}{P_d} = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A v^3}$$

En donde C_p depende del tipo de rotor, de su velocidad de giro y de la velocidad del viento.

Por lo tanto, podemos definir:

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3$$

En donde:

- P: potencia en el eje del rotor del generador (W).
- A: área barrida por el rotor del generador (m^2).
- ρ: densidad del aire en las condiciones de presión y temperatura del viento (kg/m^3).
- v: velocidad del viento medida a la altura del buje del generador (m/s).
- C_p: coeficiente de potencia o rendimiento de conversión.

El coeficiente C_p es función de la velocidad específica (λ), definida como la relación entre la velocidad lineal (u) del extremo de la pala del generador y la velocidad del viento (v). El valor de λ viene dado por la expresión:

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{\omega R}{v} = \frac{2\pi n R}{60v}$$

En donde:

- u: velocidad lineal del extremo de la pala del rotor del generador (m/s).
- ω: velocidad de rotación del rotor del generador (rad/s).
- n: velocidad de rotación del rotor del generador (rpm).
- R: radio del rotor (m).
- v: velocidad del viento medida a la altura del buje del generador (m/s).

En la figura 3.26 se puede observar los distintos valores que tomará el coeficiente de potencia, a medida que se variando la velocidad específica para distintos tipos de aerogeneradores.

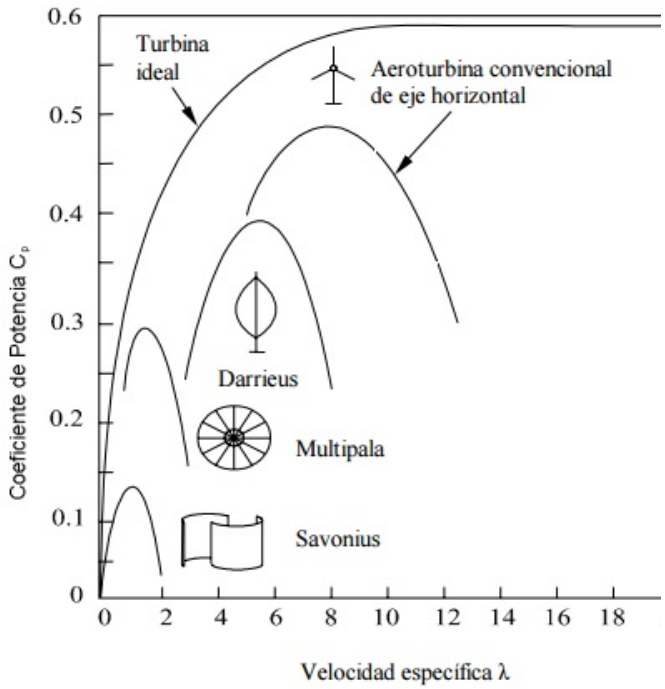


Figura 3.26: Variación del coeficiente de potencia (C_p) frente a la velocidad específica (λ) para distintos tipos de aerogeneradores

Fuente: Villarrubia (2012), pp133

Los materiales a emplear en la fabricación de rotores son muy variados. En principio, una pala puede ser fabricada en madera, metal, telas y materiales compuestos, entre otros. Los valores que determinan cual de estos materiales es el adecuado varían para cada caso específico.

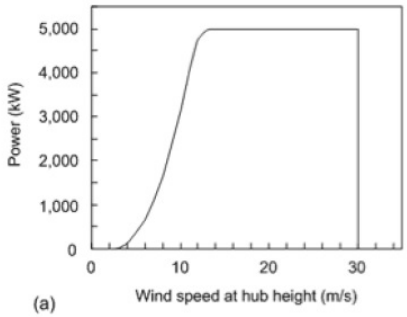
Con diferencia, casi todos los nuevos diseños prefieren las ventajas de los materiales compuestos: fibras de vidrio, carbono y kevlar, resinas de poliester, viniléster y epoxi. La ventaja de utilizar los tejidos de fibra es que se puede optimizar la estructura para resistir las cargas en las direcciones apropiadas, aligerando además el peso total. Además, el coste de estos materiales está descendiendo considerablemente, por lo que su empleo se generalizará en el futuro.

La curva de potencia de un aerogenerador es un gráfico (Ver figura 3.27) que indica cuál será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Dos velocidades características en estas curvas son:

- **Velocidad de Conexión**: Normalmente, los aerogeneradores están diseñados para empezar a girar a velocidades alrededor de 3-5 m/s.

- **Velocidad de Corte**: El aerogenerador se programará para pararse a altas velocidades del viento, de unos 25 m/s, para evitar posibles daños en la turbina o en sus alrededores. Las velocidades del viento de parada se denomina velocidad de corte.

A continuación, se presenta un ejemplo de una curva de un aerogenerador:



Wind (m/s)	Power (kW)	Wind (m/s)	Power (kW)
0	0	11	4,017
1	0	12	4,755
2	0	13	5,000
3	0	14	5,000
4	126	15	5,000
5	352	16	5,000
6	648	...	...
7	1,081		
8	1,638	29	5,000
9	2,335	30	5,000
10	3,170	31	0

(b)

Figura 3.27: Curva de Potencia del aerogenerador REPOWER 5 MW

Fuente: Software WaSP.

La electricidad producida por la turbina tiene parámetros similares a los de las instalaciones terrestres, y debe ser entregada a la red eléctrica que se encuentra en la costa más cercana. Como se conoce, la transmisión de electricidad es mejor mientras mayor es el voltaje, para evitar pérdidas de potencia, de aquí que en estos parques la tensión sea aumentada en subestaciones marítimas cercanas al parque. Por lo tanto, la electricidad es transmitida a la red eléctrica terrestre, que suele estar a mayor distancia.

Los parques eólicos offshore deben estar altamente protegidos contra las tormentas eléctricas, debido a que en altamar son más sensibles a ser alcanzados por estos fenómenos, que afectan principalmente a las palas y los sistemas electrónicos. Los cimientos y las torres de los parques eólicos offshore están sometidos a fuertes cargas provenientes del viento y de las olas, por separado o en combinación. Las cargas dependen de parámetros tales como la velocidad del viento, la turbulencia, la profundidad de las aguas, la altura de las olas, las formaciones geológicas y del tipo de parque eólico. Para estimar las cargas

es necesario conocer diversos datos, como el peso de las palas y la góndola, que sólo los fabricantes pueden ofrecerlos. Los ingenieros de proyecto deben ser capaces de prever las vibraciones y la fatiga a que estarán expuestos los parques eólicos que se diseñan[30]

3.8.6. Apantallamientos en el parque eólico offshore

Efecto de Estela

Dado que un aerogenerador produce energía a partir de la energía del viento, el viento que abandona la turbina debe tener un contenido energético menor que el que llega a la turbina. Un aerogenerador siempre va a crear un abrigo en la dirección a favor del viento. De hecho, habrá una estela tras la turbina, es decir, una larga cola de viento bastante turbulenta y ralentizada, si se compara con el viento que llega a la turbina (la expresión estela proviene, obviamente, de la estela que deja un barco tras de si). Realmente puede verse la estela tras un aerogenerador si se le añade humo al aire que va a pasar a través de la turbina, tal y como se ha hecho en la figura 3.28.

En los parques eólicos, para evitar una turbulencia excesiva corriente abajo alrededor de las turbinas, cada una de ellas suele estar separada del resto una distancia mínima equivalente a tres diámetros del rotor. En las direcciones de viento dominante esta separación es incluso mayor, tal y como se explica en la página siguiente.

Figura 3.28: Ejemplo de Turbina provocando efecto estela

[30] http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia35/HTML/articulo05.htm.

Efecto del Parque

Como cada aerogenerador ralentiza el viento tras de sí al obtener energía de él para convertirla en electricidad, lo ideal sería poder separar las turbinas lo máximo posible en la dirección de viento dominante. Pero por otra parte, el coste del terreno y de la conexión de los aerogeneradores a la red eléctrica aconseja instalar las turbinas más cerca unas de otras. Como norma general, la separación entre aerogeneradores en un parque eólico es de 5 a 9 diámetros de rotor en la dirección de los vientos dominantes (7 en el esquema de la derecha), y de 3 a 5 diámetros de rotor en la dirección perpendicular a los vientos dominantes. En la figura 3.29 se puede apreciar la distancias aconsejada que debe haber entre cada aerogenerador.

Conociendo la altura y el rotor de la turbina eólica, la rosa de los vientos, la distribución de Weibull y la rugosidad en las diferentes direcciones, los proyectistas de energía eólica pueden calcular la pérdida de energía debida al apantallamiento entre aerogeneradores. La pérdida de energía típica es de alrededor del 5 por ciento.

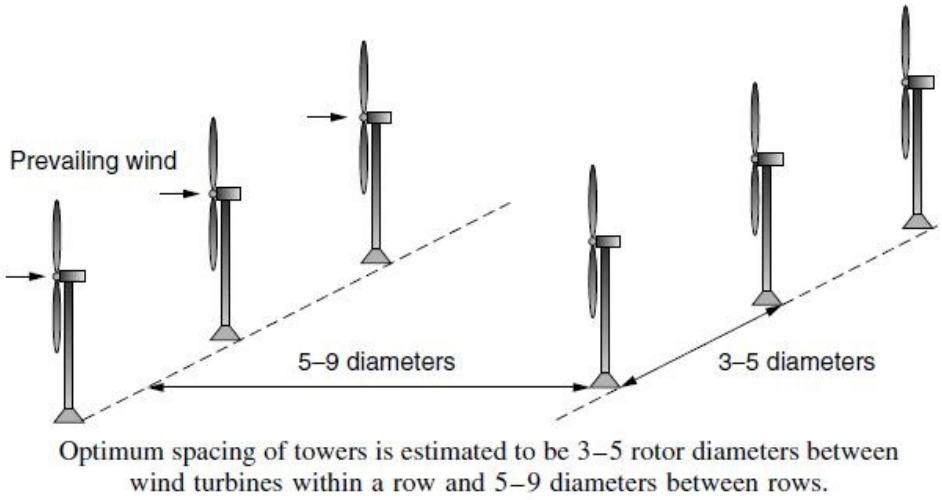


Figura 3.29: Separación recomendada entre aerogeneradores

3.8.7. Impacto ambiental

La idea de este proyecto sería buena, puesto que se estaría usando una energía renovable no convencional para suplir parte de la demanda energética de la zona. Esto es bueno, puesto que estaríamos dejando de contaminar la generación de esa energía al ambiente, dado que la opción de usar una ERNC se traduce en una nula contaminación, producto de su generación natural.

Los impactos que traería el diseño del Parque Eólico Offshore se resumen en la tabla 3.10:

Tabla 3.10: Lista de Chequeo de Factores Ambientales

Medio	**Componentes/Elemento**
Medio Físico	Aire
	Ruido
	Geología y Geomorfología
	Suelos
	Hidrología e Hidrografía
Medio Biótico	Flora y Vegetación Marina
	Fauna Marina
	Fauna Aérea
Medio Humano	Impacto Económicos
	Impacto Social
	Impacto Visual

Fuente: Elaboración Propia.

1) **Evaluación del Impacto sobre el Medio Físico:**

   a) **Aire**: Durante la fase de construcción, se producirán ciertas emisiones de la maquinaria utilizada de forma temporal. Sin embargo, durante el funcionamiento de los aerogeneradores no hay emisiones a la atmósfera, por lo tanto, la energía eólica supone un ahorro en las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otras formas tradicionales de generación de energía eléctrica y sería, por tanto, un impacto positivo sobre la calidad del aire.

b) **Ruido y Vibraciones**: Durante la fase de construcción y desmantelamiento, el impacto será de carácter temporal. El ruido producido durante el funcionamiento del parque, puede verse incrementado sino se mantiene en buen estado los aerogeneradores, que del uso normal se irán desgastando y creando más ruido. La velocidad del viento también afectará a la velocidad del sonido.

   En un estudio sobre un parque eólico se ha visto que el ruido que hacen las turbinas de los aerogeneradores es más bajo que el que puedan hacer los barcos de pasajeros (Lindell, 2003).

c) **Geología y Geomorfología**: En la fase de construcción, los materiales necesarios se depositan en una estructura, lo cual afectaría a la actividad de un posible puerto cercano (Rodríguez et al., 2011). Seguidamente, la instalación de las cimentaciones de los aerogeneradores, hace que sea necesario remover grandes masas de tierra, aunque será mayor o menor el impacto dependiendo del tipo de cimentación. Los terrenos excavados, a causa de las cimentaciones, dependiendo de su disposición, podrían hacer variar el régimen de oleaje y corrientes, modificando así la morfología local (Elsam Engineering, 2005). En la fase de desmantelamiento, se podría ampliar la zona afectada, debido a que es necesario remover el suelo para poder levantar toda la estructura. Esto también depende de la técnica utilizada en la remoción (Rodríguez et al., 2011).

d) **Suelos Marinos**: En la fase de instalación, los cables submarinos que conectan los aerogeneradores con el centro de transformación, requieren la excavación del terreno para poder enterrarlos, y así, que haya menor impacto, pero esto ocasionaría un levantamiento de sedimentos en toda la columna de agua y muerte de comunidades bentónicas. Las plataformas que se utilizan y que se asientan sobre el fondo marino, también son un impacto sobre el medio.

   Durante la fase de construcción y desmantelamiento, la contaminación puede producirse por el derrame de combustibles o aceites de las embarcaciones y maquinaria utilizada.

Durante la fase de funcionamiento, la contaminación se puede deber a la presencia de la subestación transformadora (en el caso de que se construya sobre una plataforma en el mar) y a los posibles accidentes generados por las embarcaciones que realizan el mantenimiento (Rodríguez et al., 2011).

e) **Hidrología e Hidrografía**: Es necesario realizar una modelización de las corrientes marinas para estudiar la implicación del parque sobre ellas. También habrá que tener en cuenta la influencia de la maquinaria, estructuras y embarcaciones necesarias para la construcción y desmantelamiento, así como para las labores de mantenimiento durante la fase de funcionamiento del parque.

El cambio en las corrientes es producido por la aparición de erosiones no previstas, transporte de sedimentos u otras sustancias hacia aéreas no deseadas y la presencia de los aerogeneradores, los cuales son un obstáculo que hace disminuir la energía de las olas. Aunque no haya modificaciones en las corrientes, es igualmente necesario el estudio de éstas para evitar en las cimentaciones, erosiones que las desgasten.

La calidad del agua se verá afectada por la excavación realizada en el lecho marino para enterrar las líneas de evacuación, lo cual provocará una nube de sedimentos. Lo mismo en la fase de desmantelamiento. Esta nube de sedimentos afectará sobretodo a las comunidades bentónicas. En cualquier caso, será un impacto temporal, que finalizará al acabar la construcción y el desmantelamiento (Andersen, 2006).

Durante la fase de funcionamiento del parque la presencia de los aerogeneradores da lugar a algún tipo de modificación en las corrientes que provocan la erosión de las cimentaciones y la formación de sedimentos, lo cual modifica la calidad del agua. Aunque la cantidad de sedimentos es mucho menor en este caso, el efecto es más duradero en el tiempo, con lo cual tendrá que ser tenido en cuenta.

2) **Evaluación del Impacto sobre el Medio Biótico:**

a) **Flora y Vegetación Marina**: Los efectos en la flora pueden llevar a la creación de nuevos hábitats o alteración o eliminación de los mismos.

En la mayoría de los parques eólicos, la presencia de los aerogeneradores no ha supuesto un gran cambio en la flora de la zona. Sólo en algunos casos como en el parque Nysted donde se ha pasado de una vegetación de fondo de mar a una vegetación de sustrato duro, porque las cimentaciones les sirven de anclaje. La presencia de los aerogeneradores provoca cambios en las corrientes marinas, lo que llevaría a modificar las comunidades de organismos asentadas en ese hábitat. Dependiendo de la forma de anclaje del aerogenerador, va a haber especies distintas.

b) **Fauna Marina**: Los parques eólicos pueden influir a la comunidad de los peces durante todas las etapas de existencia del parque. Esto se debe a que un cambio de hábitat producirá un efecto directo sobre los peces, pues algunos inmigrarán de la zona, mientras que otros llegarán a habitarla. Este efecto produce un incremento en la biodiversidad de hábitats en la zona.

Una vez asentada la turbina , las especies de peces residentes en el lugar serán atraídas por las turbinas, puesto que ofrecen cobijo contra predadores y corrientes de agua fuertes. Además de esto, algunos peces pueden visitar las plataformas para alimentarse, mientras otros usan las plataformas para desovar y como áreas para alevines.

Los mamíferos marinos pueden ser afectados de varias maneras. Durante la fase de construcción, el ruido y las vibraciones del montaje y otros trabajos excluyen a estos animales a mucha distancia. La energía emitida es lo bastante alta como para perjudicar la capacidad auditiva de marsopas y focas en el área circundante. Durante la fase de operación, el sonido y la vibración son aún

emitidos al agua y dificultan la comunicación y modifican el comportamiento de los animales (Rodríguez et al., 2011).

c) **Fauna Aérea**: Una de las principales preocupaciones que rodean a los parques eólicos offshore es el riesgo de colisión con los aerogeneradores, que pueden derivar en altas tasas de mortalidad de aves. La mayoría de las aves en riesgo serán aves marinas, y en algunos casos paseriformes en migración (Soerensen et al., 2003).

   Los principales efectos potenciales son:

   - Constituyen una barrera de movimiento de las aves
   - Las desplazan de sus áreas habituales
   - Tienen efectos adversos en las áreas y fuentes de alimentación.
   - Presentan riesgos de colisión

3) **Evaluación del Impacto sobre el Medio Humano:**

a) **Impacto Económico**: Considerar este proyecto podría tener un impacto positivo en las ciudades de Quintero y Puchuncaví, esto debido a que se podrían generar nuevos puestos de trabajos, para realizar el correcto monitoreo, las mantenciones, y como ya se mencionó anteriormente, turismo en el parque. Es así como el funcionamiento de este parque podría contribuir al desarrollo económico y tecnológico de la región.

   La instalación del parque puede ser el punto de partida para generar un cambio en esta zona saturada ambientalmente, en donde además, se podría autoabastecer la demanda eléctrica de la ciudad en base a una energía limpia.

   No se sabe si puede causar un efecto positivo o negativo en el turismo, debido que desde la tierra es muy poco probable que se perciba a lo largo del horizonte. Pero puede entregar una alternativa para el turismo, pues se pueden realizar visitas al parque, pues puede ser de interés de a población local y de afuera.

b) **Impacto Social**: La aceptación social es un aspecto clave a la hora de hacer frente al despliegue de la energía eólica marina.

   Los actuales proyectos en alta mar indican que la aceptación social está estrechamente relacionada con los impactos ambientales.

c) **Impacto Visual**: El impacto visual de los aerogeneradores es uno de los principales inconvenientes con el que se encuentra la energía eólica marina.

   Además de que durante la fase de construcción, la presencia de embarcaciones, equipamientos y grúas, puede provocar cierta turbidez de las aguas. En este caso son impactos temporales.

3.9. Evaluación social del proyecto

Para la evaluación de este proyecto es necesario tener una metodología que se capaz de combinar las distintas dimensiones, objetivos, actores y escalas que se hayan envueltos en el proceso de toma de decisiones, sin sacrificar la calidad, confiabilidad y consenso de los resultados obtenidos. Una de las características principales de las metodologías multicriterio es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación. La particularidad de cada metodología multicriterio está en la forma de transformar las mediciones y percepciones en una escala única, para que se logre comparar los elementos y establecer prioridades. Una de las metodologías multicriterio más utilizadas, con fundamentos matemáticos, es el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process: AHP).

En la mayoría de los proyectos se busca optimizar una función objetivo (el VAN) sujeto a una serie de restricciones (disponibilidad de recursos). Sin embargo, en los modelos multicriterio se aborda un problema distinto, ya que se buscar optimizar una serie de funciones objetivos.

Tal como define Arancibia et al. (2003), la "teoría de evaluación multicriterio" comprende en realidad un conjunto de teorías, modelos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones, aplicable no sólo al análisis de inversiones sino a una amplia gama de problemas en la gestión tanto privada como pública tales como: análisis de posicionamiento de marcas en el mercado, medición de percepciones de clientes y selección de tecnologías.

Desde el punto de vista de toma de decisiones en base a la rentabilidad de los proyectos, el mundo ideal sería aquel que permite incorporar todos los efectos del proyecto en el VAN. Dado que esto no siempre es posible (hay beneficios y costos que no son medibles), se suele agregar al VAN un listado de beneficios y costos no cuantificables, por ejemplo: efecto en la descentralización, impactos ambientales no cuantificables, efectos redistributivos. Pero lo anterior no resuelve el problema de cómo tomar una decisión a partir de esa información.

A continuación se detallan las distintas opciones para analizar la evaluación de un proyecto:

a) Modelo Costo-Efectividad: Corresponde a la evaluación de diferentes alternativas de inversión, con el fin de comparar éstas sobre la base de objetivos y criterios ya definidos. De esta forma se podría considerar como un subconjunto de un análisis costo-beneficio en el que los costos, más no los beneficios se calculan en términos monetarios.

b) Modelo Costo-Beneficio: Es una herramienta que consiste en la comparación de los costos (de inversión y operación) de un proyecto con los beneficios que éste genera. Este modelo es una herramienta para la toma de decisiones o proceso al que se someten las alternativas de inversión, el que por medio de la aplicación de determinados criterios permite emitir un juicio sobre la conveniencia de la implementación de cada una de ellas. Los criterios de evaluación quedan subordinados a los objetivos que se persigan con cada proyecto, valores y limitaciones impuestas por la entidad evaluadora y las restricciones legales; esto da origen a diferentes tipos de evaluacio-

nes de proyectos (Arancibia et al., 2003).

La práctica de la evaluación social de proyectos en Chile, ha estado centrada en la evaluación costo beneficio bajo el enfoque de eficiencia, y en bienes y servicios en los que existen mercados observables. Sin embargo, uno de los riesgos que se corre con el uso de este método es que la tendencia a cuantificar los efectos sobre enfatice aquéllos que son valorizables, aún cuando otros efectos intangibles no cuantificados pueden ser tanto o más importantes.

No obstante, a pesar de su historial de altibajos el análisis costo beneficio es actualmente la principal herramienta para la evaluación económica de programas y proyectos públicos, en cualquiera de sus fases, tales como proyectos mejoramientos de puertos, desarrollo urbano, vías férreas, autopistas y caminos, etc.

c) Modelo No Económico - Técnicas de Decisión Multicriterio: Este proceso de decisión implica, necesariamente, la comparación entre las alternativas sobre las que se puede optar frente a cierta disyuntiva presente, en primer lugar se hace necesario separar un problema de decisión en los elementos que lo componen, para la posterior comparación entre ellos, de esta manera la toma de decisión implica el hecho de comparar elementos que se traduce en la necesidad de realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación para establecer preferencias entre ellos, es decir, una jerarquía.

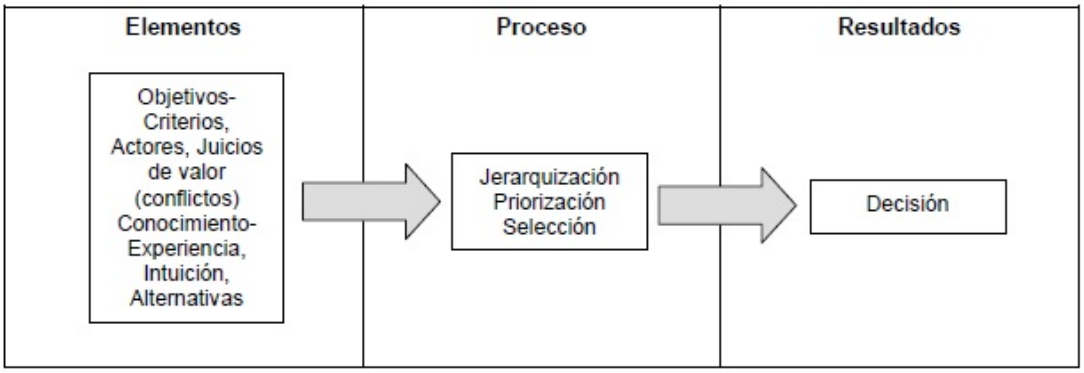


Figura 3.30: Problema de decisión

Fuente: Arancibia et al. (2003)

En la figura 3.30 se puede observar como se constituye un problema de decisión y lo fundamental que puede ser contar con un proceso adecuado para el uso de los elementos, ya que si se desea tener una herramienta eficaz y eficiente que apoye las decisiones, es de importancia contar con la mayor cantidad de elementos de análisis y utilizar el proceso más adecuado para ello. Gráfica, además, tanto los elementos, el proceso y los resultados (decisión), el sistema indica unos input (elementos) y output del proceso (decisión) estos tres componentes tienen la siguiente descripción:

1) Elementos: Están compuestos por los objetivos, criterios, actores involucrados, juicios de valor (conflictos), conocimiento, experiencia, intuición, alternativas. Los elementos que participan en un proceso de decisión por lo general se miden en escalas diferentes (peso, distancia ó tiempo por ejemplo), por lo que se requiere transformar estas unidades en una unidad abstracta que sea válida para todas las escalas.
2) Proceso: Está integrada por la jerarquización y priorización.
   - Jerarquización: Relación de orden entre las alternativas, se requiere de un modelo de decisión.
   - Priorización: Razón de proporcionalidad, en términos de cuánto mejor es una alternativa que otra; se requiere de un proceso de evaluación.
3) Resultado: Es la decisión sobre selección de una alternativa, jerarquización o priorización de proyectos.

En esencia, la Decisión Multicriterio es una optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decidor. Esto puede formularse matemáticamente de la siguiente manera:

$$max.\ F(x);\ \ x\epsilon X$$

En Donde:

x: Es el vector $[x_1, x_2, x_3, ..., x_n]$ de las variables de decisión. El problema de decisión es el de asignar los "mejores".

X: Es la denominada región factible del problema (el conjunto de posibles valores que pueden tomar las variables).

F(x): Es el vector $[f_1(x), f_2(x), ..., f_p(x)]$ de las p funciones objetivo que recogen los criterios u objetivos simultáneos del problema.

3.9.1. Clasificación de técnica multicriterio jerárquica

Según describe Pacheco y Contreras (2008), existen 3 grandes grupos en los que puede separarse la evaluación multicriterio, y se distinguen por el flujo de información entre el analista y el decidor. Cabe mencionar que el agente analista, es quien formula y modela la evaluación, para que luego el agente decidor tome la decisión.

1. Técnicas sin información a priori: Son aquellas en las que el flujo de información va desde el analista al decidor. Entre estas técnicas destacan: el método de ponderaciones, el de la ε-restricción y el simplex multicriterio. Sin embargo debido a que genera conjuntos de soluciones muy amplios, resulta poco práctico para problemas de tamaño mediano.

2. Técnicas con información a priori: El flujo de información fluye va en sentido contrario, es decir del decidor al analista. En este grupo se puede hacer una distinción,

dependiendo si el problema cuenta con alternativas finitas o infinitas. En el caso de presentarse un problema con infinitas alternativas, se utilizan técnicas de optimización en la cual se busca expresar los diferentes criterios en un denominador común. Los métodos usados para estos problemas son: métodos de programación por compromiso o programación por metas. Si el problema tiene un conjunto de alternativas discreto, entonces puede hacer otra distinción:

2.1 Métodos de agregación: en estos métodos se modelan las preferencias a través de una función de valor:

2.1.1 Directos - Teoría de utilidad multiatributo (MAUT): Son aquellos que están diseñados para obtener la utilidad de alternativas a través de los atributos valiosos, como se cita en **?**. Para cada atributo de determina una función de utilidad, y luego éstas se agregan a una función general multiatributo. Está fundamentada en los axiomas de maximización de utilidad, tricotomía, que quiere decir que al ser comparables dos acciones, existe un ordenamiento, y transitividad.

2.1.2 Jerárquicos - Proceso analítico jerárquico (AHP): Método desarrollado por Thomas Saaty, diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples discretos. Requiere de evaluaciones subjetivas entre la importancia relativa de cada uno de los criterios por parte del agente decidor, para luego dar a conocer su preferencia respecto de cada alternativa en base a cada criterio (Saaty, 1990). El resultado que se obtiene es una jerarquización de las alternativas.

2.2 Métodos basados en relaciones de orden: Se modelan las preferencias a través de un sistema de relaciones binarias:

2.2.1 Métodos de Superación (MS): Se comparan dos alternativas respecto a todos los criterios a través de relaciones binarias. Se busca determinar si una alternativa supera a otra buscando criterios suficientes que señalen su supremacía. Las relaciones que se establecen no son necesariamente transitivas, según dice Pacheco y Contreras (2008).

3. Técnicas en las que el flujo de información es en los dos sentidos, dando lugar a las denominadas técnicas interactivas. Dentro de este conjunto de métodos, los más utilizados han sido: STEM y Método de Ziots-Wallenius. En la actualidad, casi todos los métodos pueden considerarse dentro de este último grupo, bastando para ello que el decidor revise sus juicios dentro del proceso de toma de decisiones (Pacheco y Contreras, 2008). En la actualidad, casi todos los métodos pueden considerarse dentro de este último grupo, bastando para ello que el decidor revise sus juicios dentro del proceso de toma de decisiones.

3.9.2. Descripción del proceso para la evaluación multicriterio jerárquica

Se elije esta técnica debido a que este proyecto busca entregar una propuesta para la recuperación ambiental de la Bahía de Quintero, por lo tanto, considerará algunos factores que no podrán cuantificarse en un valor económico, sin embargo, serán de gran importancia para reducir la contaminación en esta zona saturada. Por lo tanto, la idea es considerar una serie de factores para poder obtener una nota a este proyecto, y así poder compararla con otras opciones que tengan como objetivo la disminución de la contaminación.

Ahora se entrará de lleno en la descripción del proceso Multicriterio. Ésta contempla de 12 pasos a seguir, tal como se representa en la Figura 3.31

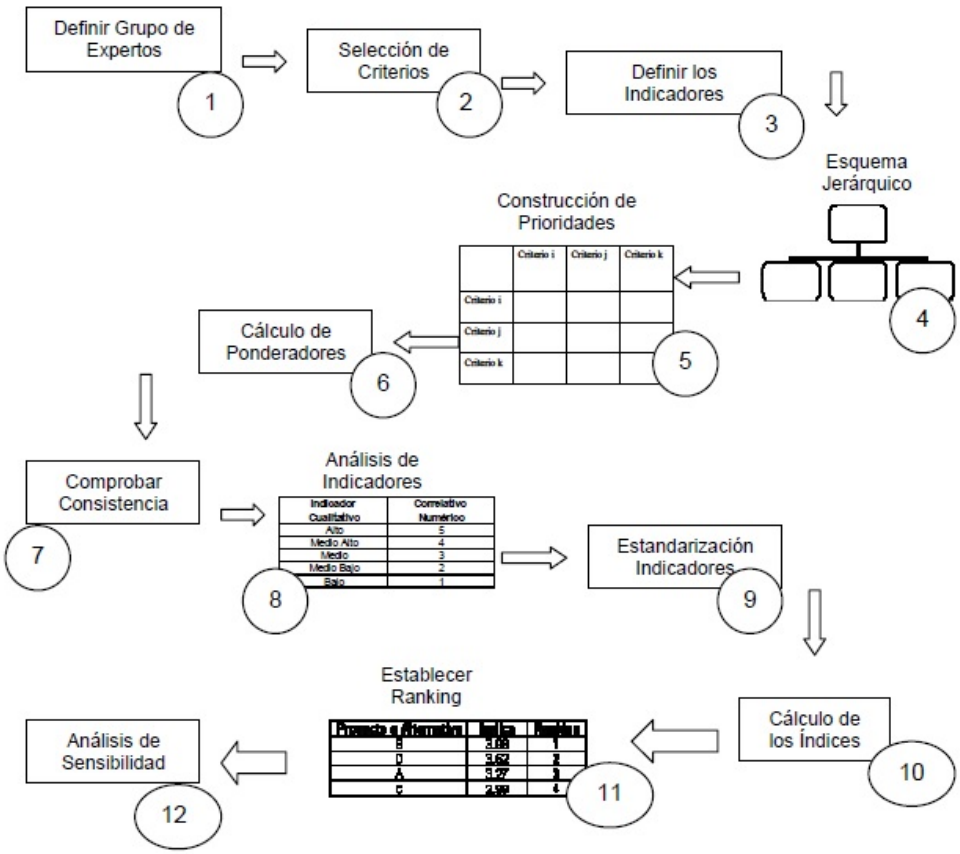


Figura 3.31: Proceso de una Evaluación Multicriterio

Fuente: Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública. ILPES.

A continuación se detallan cada una de las etapas del proceso de Evaluación Multicriterio:

Paso 1 Definición de grupo de expertos: Se define un experto o grupo de experto que sea capaz de construir un modelo en base a los objetivos relevantes del proyecto, por lo que en una situación ideal se conforma un equipo multidisciplinario, pudiendo analizar el problema desde diversos puntos de vista. En el caso de que un panel de expertos construya el modelo, se deben organizar reuniones o reuniones con cada miembro para establecer resultados consensuados. Sin embargo para este estudio, el autor junto a un grupo de académicos especializados en el tema serán quiénes construyan el modelo de evaluación.

Paso 2 Selección de criterios: Se deben identificar los criterios más relevantes para la evaluación del proyecto. Dependerá del nivel jerárquico donde se quiera implemen-

tar la iniciativa, cuáles objetivos se deben considerar, ya sea de política, planes, programas y los del propio proyecto. Si estos no están definidos previamente puede recurrir a lo siguiente para su elección: Elegir criterios que permitan recolectar información para medir ex post factum; análisis de los discursos de las autoridades relevantes; necesidades de la gente; estudiar los objetivos de la política, entre otros. En la figura 3.32 se tiene un resumen de lo anterior:

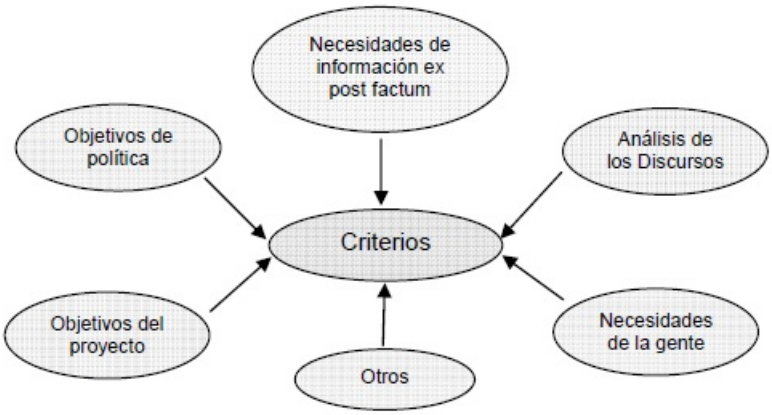


Figura 3.32: Identificación de los Criterios

Fuente: Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública. ILPES.

Posterior a ello, se deben definir con claridad los criterios que se aplicarán en el proyecto, el significado que posea cada criterio será fundamental para, posteriormente, definir cuáles serán sus variables y sus indicadores.

Paso 3 Especificar las variables e indicadores: Para los criterios seleccionados se define la manera en que éstos serán medidos. Se desglosa los criterios generales en subcriterios que permitan especificar óptimamente el problema y se construyen variables que permiten cuantificar los objetivos.

Paso 4 Esquematizar jerárquica del problema: Cuando se hayan definido los criterios, se debe construir el esquema jerárquico del modelo. Éste es de gran utilidad para el ordenamiento de la racionalidad del proceso. Un ejemplo de lo anterior se tiene en la figura 3.33:

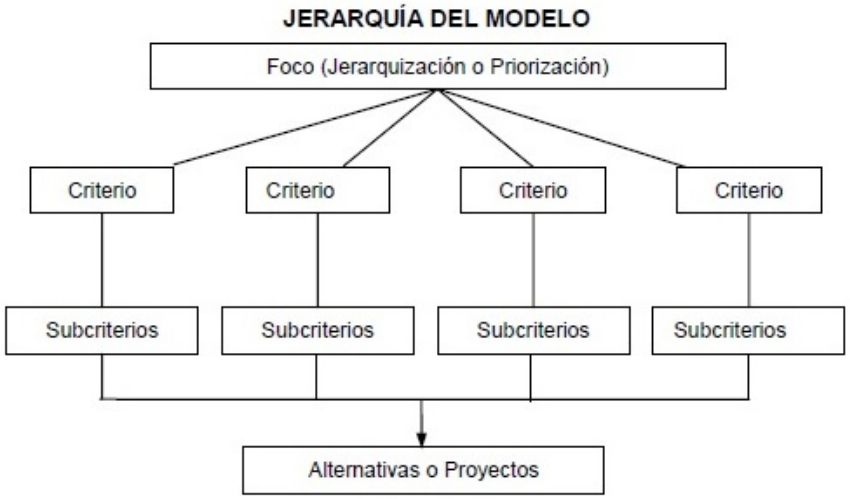


Figura 3.33: Jerarquía del Modelo

Fuente: Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública. ILPES.

Paso 5 Determinación de prioridades de los criterios: Se debe ingresar los juicios respecto de la importancia relativa de los criterios y sus subcriterios. Debe identificar cuales son sus posibilidades de establecer las relaciones de importancia entre ellos. Para ello se utilizan las propiedades de matrices con el fin de obtener las ponderaciones que describan la importancia relativa de cada criterio sobre otro, con respecto al cumplimiento del objetivo general del proyecto.

Ahora definimos R como una matriz nxn, en donde $n\epsilon Z^{+}$. Sea $r_{i,j}$ el elemento (i, j) de R, para $i = 1, 2, ..., n$, y $j = 1, 2, ..., n$. Decimos que R es una matriz de comparaciones pareadas de n criterios, si $r_{i,j}$ es la medida de la preferencia del criterio en la fila i cuando es comparada con el criterio de la columna j. Cuando $i = j$, el valor de $r_{i,j}$ será igual a 1, debido a que se está comparando el criterio consigo mismo (Saaty, 1980). De esta manera la matriz de comparaciones R queda de la siguiente manera:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 1 & \cdots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Tabla 3.11: Ejemplo de Matriz de Comparaciones de Criterios

	Criterio L	**Criterio M**	**Criterio N**
Criterio L	1	$r_{1,2}$	$r_{1,3}$
Criterio M	$r_{2,1}$	1	$r_{2,3}$
Criterio N	$r_{3,1}$	$r_{3,2}$	1

Fuente: Elaboración propia.

Paso 6 Cálculo de prioridades: Se realizan matrices de comparación para cada nivel de criterios, verbalizando un juicio de valor entre los criterios comparados y luego definiendo la correspondencia entre la valoración cualitativa y una asignación numérica utilizando la escala propuesta por Thomas Saaty:

Tabla 3.12: Escala de preferencias propuesta por Thomas Saaty

Intesidad	**Definición**	**Explicación**
1	De Igual Importancia	Dos Actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra
7	Muy Fuerte	Una actividad es mucho más favorecida que la otra su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Para transar entre los Valores anteriores	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes

Fuente: Saaty (1980)

Es importante señalar que al realizar las comparaciones binarias, el criterio de menor valoración en la escala numérica es el recíproco del de mayor valor, de modo que $x^{-1} \cdot x = x \cdot x^{-1} = 1$.

A partir de lo anterior, se construye un vector de prioridades utilizando las matrices

de comparaciones, que determinan el peso o importancia que tiene cada criterio para el cumplimiento del objetivo general. Para esto se recurre a métodos matriciales que calculan los valores y vectores propios asociados a la matriz de comparaciones.

Con anterioridad se definió $r_{i,j}$ como la medida de la preferencia del criterio en la fila i cuando es comparada con el criterio de la columna j, de acuerdo a la escala de Saaty.

Considerando la matriz R, dentro de la cual se cumple que $r_{i,j} * r_{j,i} = 1$, se puede decir que la matriz de comparaciones es una matriz recíproca.

Luego, se define w_i con $i = 1, 2, ...n$, como la prioridad o peso del criterio i. Si las prioridades fuesen conocidas la matriz de comparaciones tendría la siguiente forma:

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

Una vez completada la Matriz, el problema se transforma en un problema de Vectores y Valores propios:

$$A \cdot w = \lambda \cdot w$$

En donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones a pares (Juicios de importancia/ preferencia de un criterio sobre otro)

w = Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad

λ = Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios

La matriz A tiene una forma particular, además de ser una matriz recíproca, tiene rango 1, ya que las filas son múltiplos de la primera fila. Es por esto que la matriz tiene solo un valor propio distinto de 0. Recordando que la suma de los valores propios es igual a su traza (suma de los elementos de la diagonal principal), y sabiendo que todos los elementos de la diagonal principal tienen valor 1, se deduce que el único valor propio de A es igual a la dimensión de la matriz. Esto quiere decir que $\lambda = n$.

Por otra lado se puede observar que la suma de los elementos de cada columna j de la matriz es:

$$\frac{1}{w_j}\sum_{i=1}^{n} w_i = \frac{1}{w_j}$$

Por lo tanto, al normalizar la matriz A por medio de la suma por columnas, es decir, dividir cada elemento de una columna j por la suma de todos los elementos de la columna, se obtiene en cada nueva columna el vector w. Entonces, al promediar por fila cada valor de la matriz normalizada, se obtiene el vector propio de la matriz, es decir, el vector de prioridades.

Al ingresar juicios subjetivos en la matriz R, no necesariamente tienen que ser consistentes, por lo que la matriz R se considera una perturbación de la matriz a. Dada esta situación podría existir más de un valor propio para R. El máximo valor propio λ_{max} está asociado a un vector propio z, y se considera que z es una buena aproximación de w. Dado esto se puede definir:

$$R \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$$

Por lo tanto, la matriz de comparaciones normalizada es:

$$R_{i,j\ Norm} = \left[r_{i,j\ Norm} = \frac{r_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n} r_{i,j}} \right]$$

Finalmente, el cálculo de prioridades promediando por filas la matriz normalizada queda:

$$w = \begin{pmatrix} w_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} r_{1,j\ Norm} \\ w_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} r_{2,j\ Norm} \\ \vdots \\ w_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} r_{n,j\ Norm} \end{pmatrix}$$

Paso 7 Comprobar consistencia: Se debe verificar el grado de consistencia de los juicios, es decir, se debe cumplir los principios de transitividad y proporcionalidad en las preferencias:

a) Transitividad: Este principio dice que si el criterio 1 es mejor que el criterio 2, y el criterio 2 es mejor que el criterio 3, entonces el criterio 1 tiene que ser mejor que el criterio 3.

b) Proporcionalidad: Este principio dice que si criterio 1 es 2 veces mejor que criterio 2 y criterio 2 es 5 veces mejor que criterio 3, entonces criterio 1 es 10 veces mejor que criterio 3.

Se debe tener especial cuidado con la verificación de estos principios, pues si la persona que construye el modelo no es cuidadoso con las valoraciones de los criterios, el peso de éstos podría ser poco representativo.

Es así como se define el Índice de Consistencia (IC) como:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Luego, se debe comparar el resultado anterior con el índice de consistencia aleatorio (IA), el cual se obtuvo de la simulación aleatorio de matrices recíprocas usando la escala de Thomas Saaty. Este índice de consistencia aleatoria (IA) se obtiene de acuerdo a la dimensión n de la matriz a comparar. A continuación en la figura 3.34 se presentan algunos valores del IA:

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
IA	0	0	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404
n	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
IA	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Figura 3.34: Valores del IA, de acuerdo a la dimensión de la matriz comparada

Fuente: Saaty (1980)

A partir de lo anterior se define el Relación de Consistencia (RC) como:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

La RC va a definir si la matriz es consistente, por lo que se puede definir que:

i) RC = 0: La matriz es consistente, al igual que el vector de prioridades.

ii) RC ≤ 0,1: La matriz tiene una inconsistencia aceptable, por lo que se admite como consistencia al igual que el vector de prioridades.

iii) RC > 0,1: La matriz tiene una inconsistencia inadmisible, por lo que se deben revisar los juicios.

Paso 8 Análisis de indicadores: La información cualitativa debe ser "cuantificada" para que sea aplicable a los métodos (esto es válido para los modelos que se están expli-

cando). Para esto debe construir tablas que permitan su homologación numérica. En estas se deben establecer los grados del atributo y su correspondiente numérico.

La información cuantitativa de los indicadores proviene de diferentes medidas, y por lo tanto, de diferentes escalas que hacen imposible una comparación objetiva entre ellas. Una de las formas posibles de hacerlas comprables, y es lo que se hace para el método AHP, es clasificar la información de cada indicador en tablas que indiquen los diferentes grados de la característica. Se debe crear una escala con valores mínimo, máximo e intermedios tales que agrupen todo el rango de valores del indicador cuantitativo.

Para el método AHP es importante que el rango de las escalas de las tablas, tanto cuantitativas como cualitativas, sea el mismo.

Indicador cualitativo	Correlativo numérico
Alto	5
Medio alto	4
Medio	3
Medio bajo	2
Bajo	1

→

Proyecto	Indicador cualitativo	Correlativo numérico
A	Medio bajo	2
B	Alto	5
C	Medio	3
D	Medio alto	4

Figura 3.35: Ejemplo de Análisis de los Indicadores

Fuente: Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública. ILPES.

Paso 9 Evaluación de las Alternativas: Se realiza el cálculo de los índices de cada indicador de acuerdo a cada subcriterio definido para cada uno de las alternativas posibles.

Paso 10 Ranking de Alternativas: Se ordena jerárquicamente los índices calculados para cada alternativa de mayor a menor. Finalmente la mejor opción de preferencia, es aquella que obtuvo un mayor valor en la evaluación.

Proyecto o alternativa	Índice
A	3,27
B	3,98
C	2,99
D	3,52

→

Proyecto o alternativa	Índice	Ranking
B	3,98	1
D	3,52	2
A	3,27	3
C	2,99	4

Figura 3.36: Ejemplo de Ranking de Alternativas

Fuente: Área de Políticas Presupuestarias y Gestión Pública. ILPES.

Paso 11 Análisis de sensibilidad: Se realizan cambios con respecto a las ponderaciones relativas de los principales criterios para ver los cambios en el comportamiento del ranking establecido. Es así como se van definiendo escenarios posibles y se van comparando con el escenario actual.

Finalmente, se debe establecer bajo qué condiciones la priorización o jerarquización de las alternativas evaluadas se mantiene.

4 | Metodología

Este capítulo abarca el diseño del Parque Eólico, evaluación económica, evaluación social costo - beneficio, y la evaluación social multicriterio, las cuales son utilizadas en este trabajo.

4.1. Diseño del parque

4.1.1. Análisis del recurso eólico

Si bien actualmente la tendencia mundial en la generación eólica offshore va hacia la utilización de plataformas flotantes para instalación y operación de las turbinas, eso es solamente a nivel de desarrollo de prototipos y no existe una opción comercial de este tipo. Por lo que para la elección del lugar de emplazamiento del proyecto hay que tener en cuenta el suelo marino y la profundidad de este.

Tal como menciona Droguett (2013), la inversión del proyecto aumenta radicalmente a medida que aumenta la profundidad del suelo marino donde van a estar instaladas las turbinas, casi todas los parques eólicos offshore que se encuentran operativas hoy en día se encuentran en el Mar del Norte el cual se caracteriza por ser un mar muy poco profundo. En algunos lugares se tienen profundidades de 30 metros, a 50 o 60 Km mar adentro, lo que significa que el recurso del viento es muy bueno en términos de velocidad y disponibilidad.

La geografía chilena tanto en tierra firme como en el mar es muy accidentada, esto debido a la zona de subducción que se produce por la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, lo que ha dado origen a la Cordillera de los Andes y a la Fosa de Atacama, la cual alcanza los 8 Km de profundidad en el norte del país. Sin embargo, frente a las costas en las regiones de Coquimbo y Valparaíso ésta disminuye notablemente su profundidad, por lo que se abre una opción de ver la viabilidad en Quintero.

Observando los proyectos eólicos offshore, en operación o en construcción, estos se emplazan entre 20 y 100 kilómetros mar adentro y con una profundidad entre 20 y 100 metros, por lo que para poder realizar un parque eólico offshore en Chile hay que tener en cuenta estas condiciones, especialmente de profundidad.

Para la elección del lugar en donde se instalaría el parque eólico se analiza cuidadosamente la batimetría que hay en la zona de Quintero, además se tomó en consideración el hecho de que en la Bahía de Quintero se encuentra el Puerto de Quintero, por lo que habrá una circulación de botes flotantes en los alrededores del lugar en donde se instale el Parque Eólico Offshore.

Otro factor que se toma en consideración, son las recomendaciones de Parque Eólicos internacionales con respecto a la distancia que debe haber entre el parque y la zona costera; y la profundidad que se alcanza en la zona.

En la Figura 4.1 se muestra la ubicación del sitio seleccionada para la toma de muestras de datos eólicos para la construcción del Parque Eólico Offshore[31]

[31] Ver en http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/

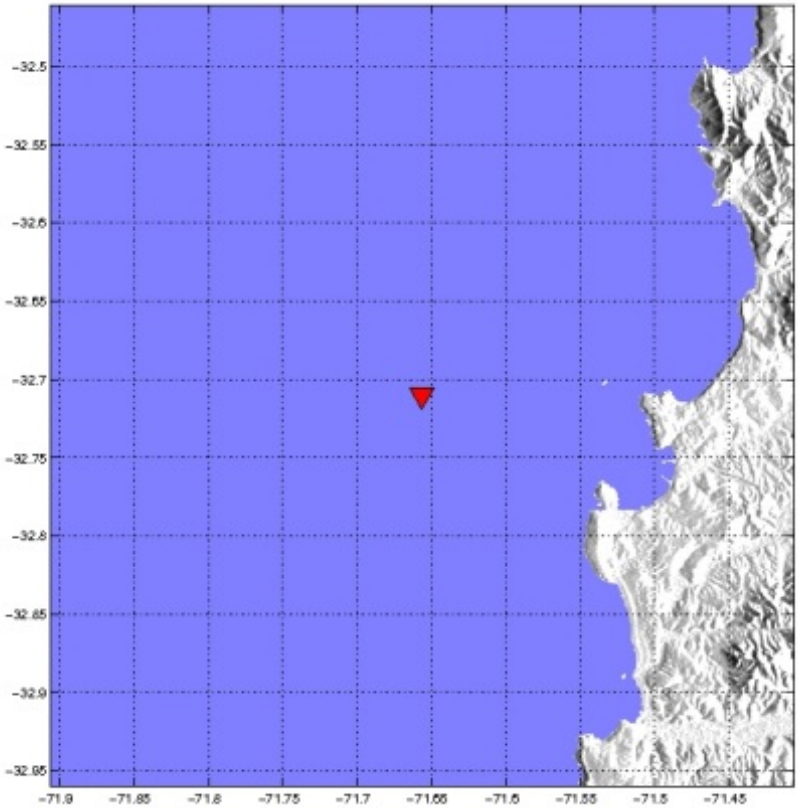


Figura 4.1: Ubicación del sitio seleccionado para la toma de muestras mar adentro
Fuente: Ministerio de Energía, Chile.

En primer lugar se debe determinar si el sitio seleccionada cuenta con la batimetría recomendada para la instalación del parque, en la Figura 4.2 se muestra las profundidades que se tienen en dicho lugar:

Como se puede apreciar en la Figura 4.2 el sitio escogido tiene una distancia a la costa de *12,5 km*, y una profundidad de *106 m*. Si bien es cierto los datos no son parecidos a los de la experiencia internacional, se cree que serán los óptimos dada la accidentada geografía que tiene Chile.

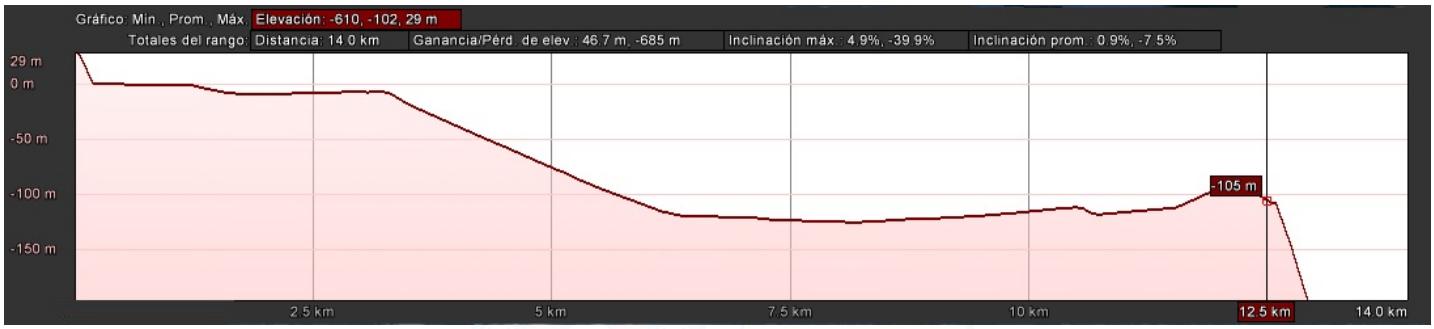


Figura 4.2: Profundidades del sitio seleccionado
Fuente: Google Earth.

Lo siguiente que se tiene que considerar, y lo más importante, es el recurso eólico con el que cuenta el sitio seleccionado, esto debido a que al momento de decidir realizar un proyecto de parque eólico, ya sea onshore u offshore es la velocidad del viento, todas las turbinas eólicas necesitan una velocidad mínima para romper la inercia y comenzar a girar, es decir, que el viento tiene que tener una velocidad mínima para que las turbinas puedan empezar a generar energía.

Del Explorador Eólico de la Universidad de Chile[32] se obtiene el recurso eólico[33] del lugar seleccionado (Figura 4.3) el cual se puede apreciar a continuación:

[32] http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/

[33] La modelación desarrollada proporciona datos simulados con un modelo atmosférico de mesoescala, de manera independiente de estaciones meteorológicas locales. Ello significa que sus resultados, en particular los relacionados con la magnitud de las variables modeladas, no deben ser considerados plenamente confiables sin ser corroborados previamente con mediciones en situ.

El modelo empleado es el WRF (Weather Research and Forecasting) versión 3.2, que ha sido desarrollado por NCAR (National Center for Atmospheric Research) en Estados Unidos y es ampliamente utilizado en el área de evaluación del recurso eólico a nivel mundial. El modelo fue aplicado con una resolución espacial de 1 kilómetro y tiene 12 niveles verticales entre 0 y 200 metros de altura. Se disponen datos para el año 2010 por completo.

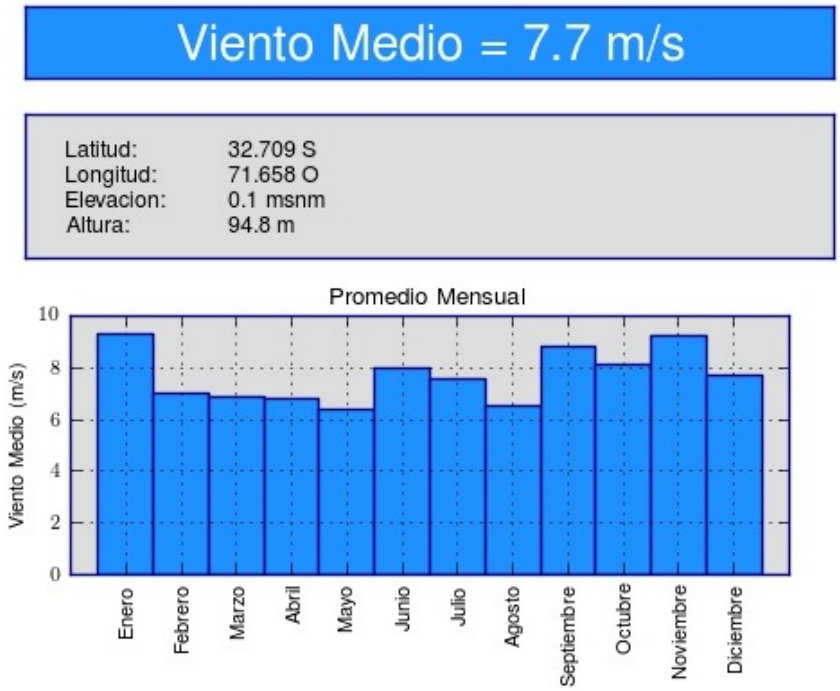


Figura 4.3: Recurso Eólico del sitio seleccionado para la instalación del Parque Eólico
Fuente: Ministerio de Energía, Chile.

Como se puede apreciar en la Figura 4.3, los vientos en el sitio seleccionado tiene una velocidad anual promedio de *7,7 m/s*, dentro del cual también se puede ver la variabilidad que se tienen en los vientos a lo largo del año, en donde en los meses de Enero y Noviembre se alcanzan velocidad por sobre lo 9 m/s, en tanto que en los meses Mayo y Agosto se obtiene velocidades promedios cercanas a los 6 m/s, por lo que la distribución de generación de energía no será uniforme y dependerá del mes de funcionamiento del parque eólico.

En la Figura 4.4, se puede apreciar la dirección predominante del viento en el sitio escogido. Como se puede apreciar la dirección predominante del viento viene desde el Sur-Oeste[34].

[34] Las barras azules indican el porcentaje de los valores horarios según la dirección del viento. Las barras rojas indican el rango inter-quartil de velocidad de viento para cada intervalo de dirección. La dirección de viento es un ángulo que indica el sector desde donde proviene el viento. En particular: para 0 el viento viene del Norte; para 90 se tiene viento del Este; en el caso de 180 el viento es del Sur; y para 270 se tiene viento del Oeste

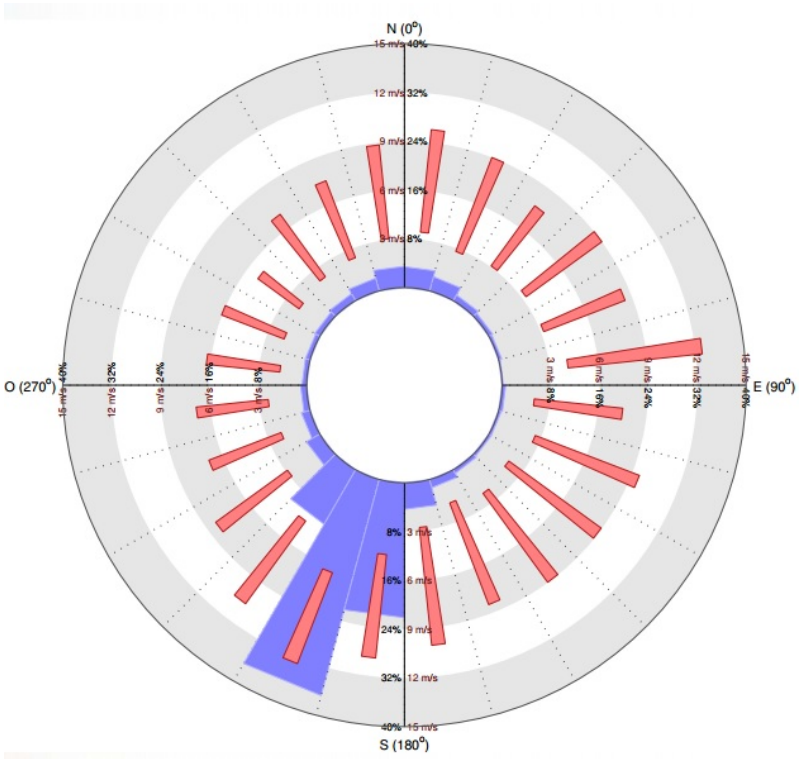


Figura 4.4: Rosa de los Vientos del sitio seleccionado
Fuente: Ministerio de Energía, Chile.

4.1.2. Configuración del parque

Tal como menciona Sánchez et al. (2014), una vez que se conoce el recurso eólico el emplazamiento seleccionado, el siguiente paso es diseñar una configuración del parque adecuada que minimice las pérdidas por efecto estela y con el que consigamos maximizar la producción anual, siempre atendiendo a criterios que económicamente/eléctricamente resulten más favorables para el montaje e instalación del parque en su conjunto.

Opción 1 : **Configuración 1:175**.

En la primera configuración se opta por una disposición cuadrada de los aerogeneradores. Se disponen con una separación de 10 veces el diámetro del aerogenerador y en posición favorable a la dirección más predominante del viento.

La subestación eléctrica se encontraría situada en la zona entre el parque y la costa. En la Figura 4.5 se puede apreciar que el circulo corresponde a la distribución de las turbinas a lo largo de la costa, mientras que el rombo representa la subestación eléctrica.

Figura 4.5: Configuración del Parque, según Opción 1
Fuente: Elaboración Propia.

Para esta configuración tenemos los datos que se presentan en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1: Configuración del Parque, según Opción 1

Un grupo de 175 turbinas VESTAS 2.0 MW	Potencia Total 350 MW
Pérdidas por Estela	12,45 %
Producción Neta Anual	1.141,83 GWh
Número Horas Equivalentes	3.262 hr

Fuente: Elaboración Propia.

Opción 2 : **Configuración 5:35**.

Para esta configuración se decide dividir el conjunto en cinco subgrupos de 35 turbinas. De igual manera que en la configuración 1, se toma una distancia de de separación entre turbinas de 10 veces el diámetro del rotor del aerogenerador. De los cinco

subgrupos, tres se colocan de manera paralela a la costa, mientras que los otros dos se colocan adelante de ellos a una distancia suficientes para no ocasionar nuevas pérdidas por el efecto estela. Además se considerará el espacio necesario para poder instalar cables y la subestación.

En este caso la subestación eléctrica se instalaría en el espacio de separación entre los cinco subgrupos por ser la solución económicamente/eléctricamente más rentable. En la Figura 4.6 se puede apreciar que los circulos corresponde a los subgrupos de las turbinas, mientras que el rombo representa la subestación eléctrica.

Figura 4.6: Configuración del Parque, según Opción 2
Fuente: Elaboración Propia.

Para esta configuración tenemos los datos que se presentan en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2: Configuración del Parque, según Opción 2

Cinco grupo de 55 turbinas VESTAS 2.0 MW	Potencia Total 350 MW
Pérdidas por Estela	8,12 %
Producción Neta Anual	1.198,30 GWh
Número Horas Equivalentes	3.424 hr

Fuente: Elaboración Propia.

Opción 3 : **Configuración 7:25**:

Por último se decide diseñar otra configuración diseñando 7 subgrupos de 25 aerogeneradores cada uno. Con esta configuración se pretende minimizar en gran medida las pérdidas por efecto estela y a la vez minimizar de igual manera el riesgo de pérdida de producción al dividir en más grupos los aerogeneradores.

La subestación transformadora se encontraría situada en el centro del parque, es decir, entre los cuatro grupos de aerogeneradores. En la Figura 4.7 se puede apreciar que los círculos corresponde a los subgrupos de las turbinas, mientras que el rombo representa la subestación eléctrica.

Figura 4.7: Configuración del Parque, según Opción 3
Fuente: Elaboración Propia.

Para esta configuración tenemos los datos que se presentan en la Tabla 4.3

Tabla 4.3: Configuración del Parque, según Opción 3

Siete grupo de 25 turbinas VESTAS 2.0 MW	Potencia Total 350 MW
Pérdidas por Estela	7,58 %
Producción Neta Anual	1.205,34 GWh
Número Horas Equivalentes	3.444 hr

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Elección de la turbina

La tendencia de estos últimos años en fabricantes que más se usan para montar aerogeneradores en la eólica offshore son VESTAS y SIEMENS. En este caso se analiza la opción de las máquinas SIEMENS 2.3 MW y una VESTAS 2.0 MW. Además se tenía la opción de instalar máquinas de mayor potencia, sin embargo, dado los recursos eólicos de la zona, no sería conveniente trabajar con máquinas de mayor potencia, puesto que la velocidad promedio no es tan alta como para aprovechar al máximo este tipo de tecnología.

A continuación se presentan las curvas de potencia de los aerogeneradores seleccionados (Figura 4.8 y Figura 4.9):

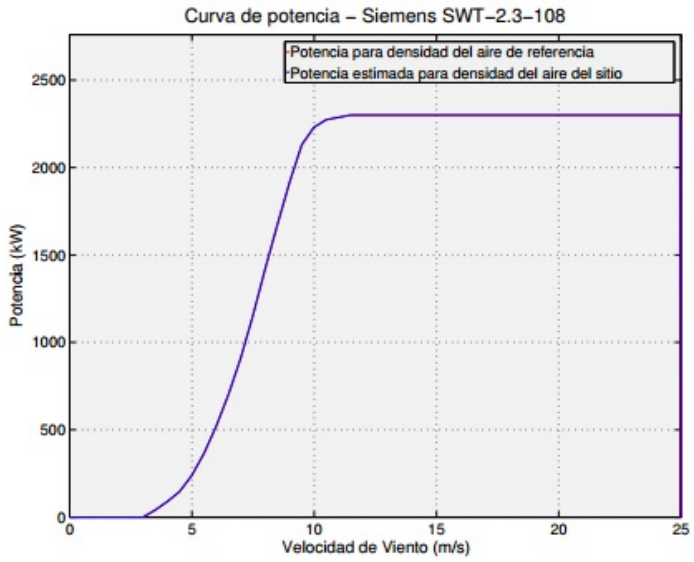


Figura 4.8: Curva de Potencia del aerogenerador SIEMENS 2.3 MW
Fuente: Ministerio de Energía, Chile.

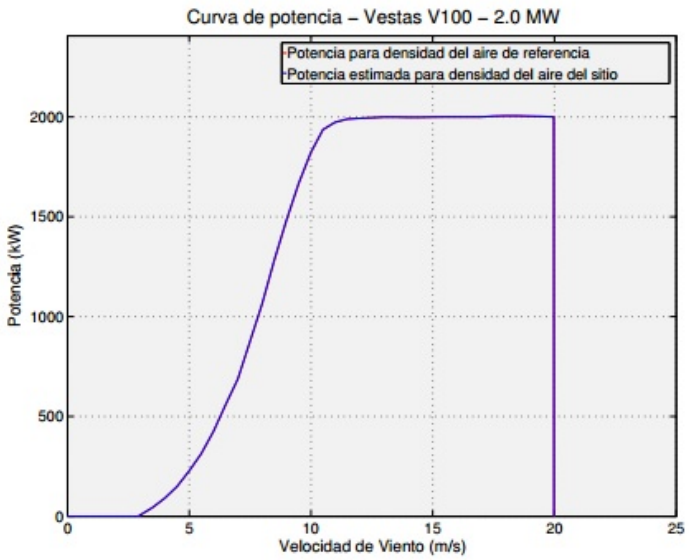


Figura 4.9: Curva de Potencia del aerogenerador VESTAS 2.0 MW
Fuente: Ministerio de Energía, Chile.

Una vez realizado lo anterior, vemos la producción neta anual que generarían ambos aerogeneradores (Ver Tabla 4.4), para poder determinar la mejor elección de turbina para trabajar en este parque eólico.

Tabla 4.4: Comparación de Alternativas de Aerogeneradores

Mes	**SIEMENS 2.3 MW** (kW)	**VENTAS 2.0 MW** (kW)
Enero	1549,4 ± 278,3	1304,2 ± 234,2
Febrero	1033,4 ± 195,3	856,1 ± 161,8
Marzo	1051,7 ± 188,9	873,9 ± 157,0
Abril	1002,9 ± 183,1	835.7 ± 152,6
Mayo	954,5 ± 171,4	786.4 ± 141,2
Junio	1190,4 ± 217,3	963,6 ± 175,9
Julio	1112,2 ± 199,8	920,7 ± 165,4
Agosto	963,3 ± 173,0	791,1 ± 142,1
Septiembre	1525,4 ± 278,5	1279,0 ± 233,5
Octubre	1308,5 ± 235,0	1097,2 ± 197,1
Noviembre	1543,6 ± 281,8	1300,0 ± 237,3
Diciembre	1215,9 ± 218,4	1012,4 ± 181,8
Total Anual	**1204,4 ± 63,0**	**1001,9 ± 52,4**

Fuente: Ministerio de Energía, Chile. Elaboración Propia.

Al realizar una comparación entre ambas alternativas vemos que no hay mucha diferencia en la producción de energía, por lo que opta por trabajar con las turbinas *VESTAS 2.0*, dado que no se genera mucho más energía si aumentamos la potencia del aerogenerador.

4.1.4. Cimentaciones

Dadas las condiciones del emplazamiento donde se ubicará el parque eólico, la profundidad media es de 106 metros, solamente queda por optar las plataformas flotantes dada la enorme profundidad con la cual se va a instalar el parque.

Si bien es cierta esta tecnología aún está vías de desarrollo, se espera que en unos años más las plataformas sean una apuesta segura para la instalación de parque eólicos, ya que así se podría operar varios sectores de superficies marinas que hoy en día tienen un gran potencial eólico, pero dada su accidentada geografía con las tecnologías actuales se hace imposible un viabilidad en ellas.

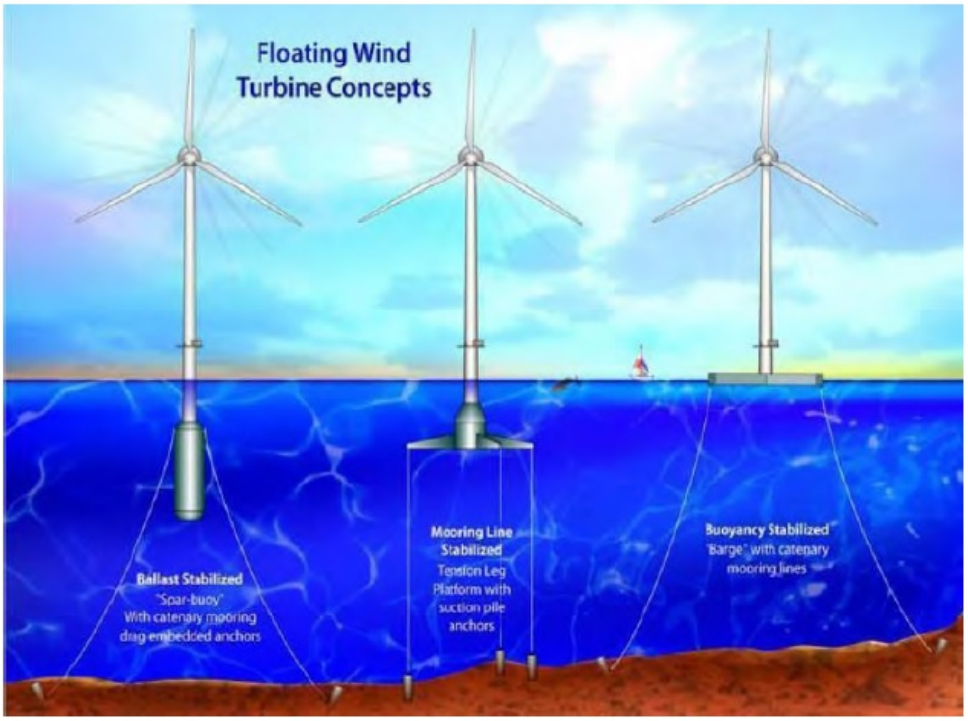


Figura 4.10: Tipos de Plataformas Flotantes
Fuente: Sánchez et al. (2014).

4.2. Evaluación económica

En Chile no existen estudios sobre parques eólicos offshores, es por esta razón que se toma en consideración datos entregados por **The European Wind Energy Association (EWEA)** como referencia para la evaluación económica.

4.2.1. Datos técnicos del parque eólico offshore

En primer lugar se definen las características del Parque Eólico Offshore, éstos se representan en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Datos Técnicos del Parque Eólico Offshore

Localización	Quintero, Región de Valparaíso
Vida de la Instalación	30 (Años)
Número de Aerogeneradores	175
Potencia Unitaria	2 MW
Producción Anual	1.205,34 GWh
Horas Equivalentes	3.444 hrs

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Datos de la inversión

Un parque eólico offshore comparte los mismos elementos que un parque eólico onshore, sin embargo la diferencia de situar los aerogeneradores en el océano obliga a una reestructuración sobre el peso de cada parte en el costo total. Dicho coste total del MW instalado puede ser 3 o 4 veces mayor en offshore que en onshore.

Tal como se mencionó anteriormente, en Chile no existen proyectos ni estudios relacionados a este tipo de tecnología, por lo que se consideran datos de la EWEA para conocer la inversión del proyecto.

En Internacional Renewable Energy Agency (2012) se realiza una comparación entre los costos de inversión entre un parque eólico onshore, con un parque eólico offshore, ésta

se muestra en la tabla 4.6, en donde la inversión se divide en:

1. Costo de Turbina: Incluye la producción de la turbina, el transporte y la instalación de la turbina.

2. Costo de Conexión a la red: Incluyen cableado, subestaciones y edificios.

3. Costo de Construcción: Incluyen el transporte y la instalación de la turbina de viento y de la torre, fundación aerogenerador Construcción (torre), y la construcción de carreteras y otra infraestructura relacionada para la instalación de aerogeneradores.

4. Otros Costos de Capital: Incluyen el desarrollo e ingeniería de costos, procedimientos de concesión de licencias, consultoría y permisos, SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) y sistemas de monitoreo.

Tabla 4.6: Comparación Costo de Capital entre Onshore y Offshore

	Onshore	**Offshore**
Costo de Capital (USD/kW)	1700-2450	3300-5000
Costo de Turbina	65-84	30-50
Costo de Conexión a la red	9-14	15-30
Costo de Construcción	4-16	15-25
Otros Costos de Capital	4-10	8-30

Fuente: Internacional Renewable Energy Agency (2012)

En base a lo anterior se determina la inversión estimada por cada kW que genera el parque dadas las tecnologías de hoy en día, con lo anterior y dada la potencia instalada en el parque se obtiene la inversión total (Tabla 4.7) para la evaluación económica del proyecto:

Tabla 4.7: Datos de la Inversión del Parque Eólico Offshore

	Valor
Inversión Estimada	3.300 (USD/kW)
Inversión Total	1.255.716.000 (USD)

Fuente: Elaboración Propia.

Dadas las estimaciones presentadas por la EWEA (Tabla 4.6), se desglosa la inversión en sus respectivos ítemes, que se presenta en la siguiente tabla (Tabla 4.8):

Tabla 4.8: Detalles de la Inversión Total del Parque Eólico Offshore

		Valor
Turbina	45 %	565.072.200 (USD)
Conexión a la Red	25 %	313.929.000 (USD)
Construcción	20 %	251.143.200 (USD)
Otros Costos	10 %	125.571.600 (USD)
Inversión Total	**100 %**	**1.255.716.000 (USD)**

Fuente: Elaboración Propia.

También se puede apreciar en la figura 4.11 la distribución de la Inversión Total para el parque eólico:

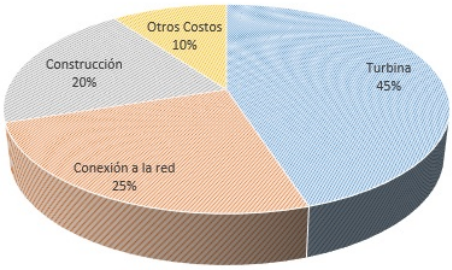


Figura 4.11: Distribución de la Inversión Total
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Datos de financiamiento

Debido a la gran cantidad de dinero que se necesita para invertir en este proyecto, es que se utiliza la siguiente información para su financiamiento (Tabla 4.9):

Tabla 4.9: Detalles de Financiamiento

Recursos Propios	25 %
Recursos Ajenos	75 %
Duración del Préstamo	10 (años)
Interés del Préstamo	4,55 %
Tasa de Inflación	3,00 %
Comisión Apertura	0,75 %
Gastos Tramitación	1.089 (USD)

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla 4.9, cabe mencionar que la comisión de apertura y los gastos de tramitación serán considerados como costos financieros que se pagarán el primer año de ejecución del proyecto.

4.2.4. Datos de ingresos por ventas

Se considerarán las siguientes pérdidas (Ver Tabla 4.10) en la generación de energía[35]

Tabla 4.10: Pérdidas Asociadas a la generación de energía

Pérdidas Eléctricas	5.00 %
Pérdidas de Disponibilidad	5.00 %
Pérdidas de Hísteris de Altos Vientos	0.50 %
Pérdidas por Contaminación de Palas	1.50 %
Pérdidas por Efecto Estela	7.58 %
Pérdidas de la Curva de Potencia	4.00 %

Fuente: Elaboración Propia.

La energía eléctrica generada se vende a un precio establecido y fijado en el contrato de venta de energía. Se espera que para el año 2021, éstas tengan una disminución en su precio de venta a 90 (USD/MWh), sin embargo, año a año se espera que tengan un incremento del 2 %. Además de lo anterior, se considerará un ingreso por precio venta de potencia, por venta de atributos ERNC y por venta de bonos de carbono (se esperan que

[35] Fuente en https://efectoestela.wordpress.com/2013/06/24/perdidas-de-energia-en-un-parque-eolico/

también tengan el mismo incremento anual).

En la tabla 4.11 se resume lo anteriormente mencionado, con respecto a los ingresos que tendrá el Parque Eólico Offshore:

Tabla 4.11: Detalles de Ingresos del Proyecto

	Valor
Precio venta Bonos de carbono	7.28 (USD/TonCO_2)
Incremento Venta Energía	2 %

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, no se considerar los ingresos por venta de energía, esto se debe principalmente porque se espera que este proyecto se financie con los ahorros que traería el dejar de utilizar la central térmica a carbón. Es por esta razón que no se estaría generando más energía de la que actualmente se produce, sino que se estaría cambiando la forma de generar dicha cantidad pasando de una energía convencional a una renovable.

A su vez para los demás ingresos que se presentan en la tabla 4.11 se estima que el factor de emisiones será de 0.36 (Ton/Mwh) para la consideración de la venta de bonos de carbono.

4.2.5. Datos de gastos anuales

En esta sección se considerarán como gastos anuales la suma de los gastos operacionales y los gastos no operacionales. Los gastos operacionales están compuestos por los gastos administrativos (GAV) y los gatos de operación y mantenimiento (GO&M). En tanto que los gastos no operacionales tienen el seguro de responsabilidad civil por daños a terceros (RC), el seguro por catástrofe, la depreciación de equipos y obras civiles, y costos financieros (pago de intereses del crédito).

En el trabajo de Sánchez et al. (2014) se estiman que los gastos administrativos (GAV),

se subdividen en el gasto de personal y en el gasto administrativo del proyecto. En tanto que los gastos de operación y mantenimiento (GO&M) quedan asociados a la potencia instalada que tiene el parque eólico[36]. Además se considera un aumento del 2 % anual para los valores mencionados.

En la tabla 4.12 se resume lo anterior:

Tabla 4.12: Detalles de los Gastos Operacionales del Proyecto

	Valor
Precio de Personal	820.000 (USD)
Precio de Administración	65.000 (USD)
Precio de Operación y Mantenimiento	181 (USD/kW)
Incremento Gastos Anuales	2 %

Fuente: Elaboración Propia.

En tanto que los gastos no operacionales se subdividen en lo que son los seguros (Tabla 4.13), depreciación (Tabla 4.14) y los pagos financieros (Figura 4.12).

Tabla 4.13: Detalles de los Seguros contratados para el Proyecto

	Valor
Seguro de RC	1.020.000 (USD)
Seguro por catástrofe	65.000 (USD)

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.14: Detalles de la Depreciación de Activos para el Proyecto

	Años a Depreciar	Valor
Depreciación de Equipos	12 (años)	31.392.900 (USD)
Depreciación de Obras Civiles	20 (años)	8.371.440 (USD)

Fuente: Elaboración Propia.

[36]Información Obtenida de: http://www.fierasdelaingenieria.com/los-costes-de-operaciones-y-mantenimiento-de-los-diferentes-tipos-de-energia/

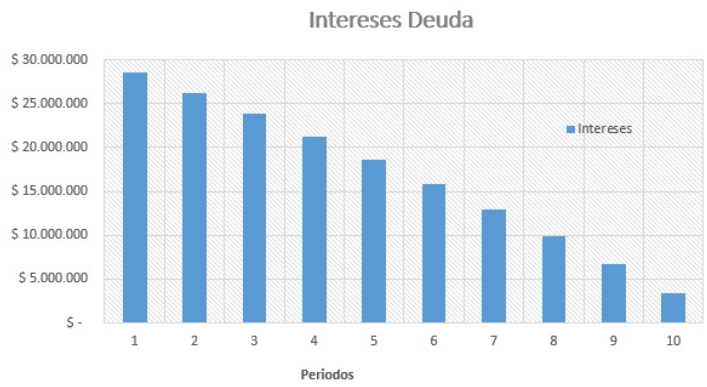


Figura 4.12: Pagos Financieros del Crédito
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.6. Ahorros por desuso de central térmica

Dado que se estará generando **350 MW** con energía eólica, se estarán dejando de producir esta cantidad en la Central Térmica, por lo tanto esto se puede ver en un ahorro económico dado que se realizarán menos gastos en Operación y Mantenimiento en la Central, y además se dejará de consumir una cierta cantidad de toneladas de Carbón. Los datos a comparar de la Central son presentados en la Tabla 4.15:

Tabla 4.15: Detalles del caso base (Central Térmica)

	Valor
Costo de O&M	48 (USD/kW)
Factor de Planta	0.8
Conversión del Carbón	2 (MWh/Ton_{Carbon})

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4.16 se considera la proyección del precio del Carbón, según (CNE, 2015):

Tabla 4.16: Precio de paridad proyectado para carbón

Año	Valor Referencia (US$/ton)
2016	91,31
2017	93,10
2018	93,70
2019	94,51
2020	95,44
2021	96,32
2022	96,88
2023	97,39
2024	97,75
2025	98,38
2026	98,92
2027	99,41
2028	99,59
2029	100,27
2030	100,88

Fuente: CNE 2015.

Se considera un crecimiento promedio del precio del carbón de un 0,7 % anual, con lo cual se proyecta el precio de éste para los siguientes años del ciclo de vida del Parque, llegando para el año 2047 a un precio de 113,68 (US$/ton).

4.3. Evaluación social

En esta sección se realiza la Evaluación Social del proyecto, para esto se ha trabajo en la búsqueda de beneficios tanto sociales, ambientales y económicos. En la Tabla 4.17 se detallan cada uno de éstos:

Tabla 4.17: Lista de Beneficios

Beneficio Social	**Beneficio Ambiental**	**Beneficio Económico**
a) Enfermedades y Muertes **b)** Educación **c)** Investigación e Innovación **d)** Concientización Ambiental **e)** Autoestima de la Comunidad **f)** Aceptabilidad de la Comunidad **g)** Creación de Empleos	**a)** Emisiones de Partículas (PM10) **b)** Emisiones de gases efecto invernadero **c)** Residuos sólidos y líquidos locales **d)** Cambio Climático **e)** Requerimiento de Tierras	**a)** Desarrollo Turístico **b)** Tasa de Compensación **c)** Costos Energéticos **d)** Disminución Uso de Agua **e)** Recursos energéticos naturales locales

Fuente: Elaboración Propia.

De la lista de beneficios presentadas, hay algunos beneficios que cuantitativos como la Creación de Empleos, mientras que hay otros que son cualitativos como la Autoestima de la Comunidad. Dado lo anterior, se realizarán dos métodos de evaluación social: La evaluación social Costo - Beneficios, dentro de la cual se le dará un peso económico a los beneficios cuantitativos, esto traerá directos efectos en la evaluación económica. La segunda metodología, es la evaluación social multicriterio, la cual fue explicada en el marco teórico de este documento, en ella se trabajaran tanto los beneficios cuantitativos como los beneficios cualitativos.

Cabe mencionar que estos criterios y subcriterios fueron guiados y comparados con los trabajos de Parodi (2013), Chatzimouratidis y Pilavachi (2008) y Cavallaro y Ciraolo (2005).

Ambos se detallarán a continuación:

4.4. Evaluación social costo - beneficio

Precios sociales

Cuando se realiza la evaluación social de los proyectos es muy importante considerar los efectos (positivos o negativos) que tiene un proyecto, pues no siempre la evaluación privada refleja el verdadero costo de oportunidad de los recursos a utilizar. Esto se debe principalmente a la existencia de impuestos, subsidios, precios mínimos y máximos, y los monopolios y monopsonios (Ministerio de Desarrollo Social, 2013).

Es por esta razón que se sugiere revisar los efectos que no son considerados en la evaluación privada como los son los efectos indirectos que el proyecto genera sobre los mercados relacionados, además de las externalidades que son los efectos positivos o negativos que produce el proyecto sobre otros agentes económicos.

Ante esta situación es que se utilizan los *Precios Sociales*, los cuales reflejan el verdadero costo para la sociedad de las unidades adicionales de recursos a utilizar en la ejecución y operación de un proyecto de inversión.

Es por esta razón que para la evaluación social de este proyecto consideraremos estos llamados precios sociales para obtener un mejor reflejo de los efectos positivos o negativos que traería el proyecto, y como éstos varían en el resultado del VAN Social. Este VAN Social considera los beneficios y costos sociales del proyecto, con lo cual se utiliza una tasa social de descuento del 6 %[37].

Para este proyecto se utilizan algunos precios sociales indicados por el Ministerio de Desarrollo Social, mientras que también se utilizan algunos factores de corrección en algunos costos, como en la inversión **(Ver Anexo B)** y en la mano de obra (Tabla 4.18).

[37] Es la Tasa Social de Descuento establecida por el Ministerio de Desarrollo Social.

Tabla 4.18: Factor de Corrección de Mano de Obra

Tipo de Mano de Obra	Factor de Corrección
Calificada	0,98
Semi Calificada	0,68
No Calificada	0,62

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social (2013)

Es importante considerar que también se considera un precio social en la divisa, esto quiere decir que cuando importamos un equipo comúnmente pagamos un arancel que es un impuesto que se cobra al privado por su importación, sin embargo, se sugiere quitar dicho impuesto y multiplicarlo por un factor de corrección de la divisa. Según el Ministerio de Desarrollo Social (2013) el factor de corrección de la divisa es de 1,01.

Cuantificación de disminución de enfermedades y muertes

Por otra parte, se da una valorización monetaria a la disminución de enfermedades producida por la reducción de un contaminante, y a la generación de empleos que traería el ejecutar alternativas para combatir la contaminación ambiental en Quintero.

Para el análisis del beneficio económico se utiliza el método de la función de daño, de acuerdo a lo señalado por Mardones et al. (2015), esta función se puede configurar de acuerdo a modelos que vinculan los efectos de un cambio diario en la concentración de un agente contaminante sobre la salud de la población expuesta. De esta forma, el beneficio económico se puede modelar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta Beneficio = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} Vu_{i,j} \cdot TasaBase_{i,j} \cdot Poblacion_j \cdot \beta_{i,j} \cdot \Delta AgenteContaminante$$

Para lograr un mayor entendimiento de la ecuación anterior, se detalla la nomenclatura utilizada:

1. Índice j: Hace referencia a subgrupos de la población, la cual se fueron divididos según rango etario. En particular se utilizarán el segmento 1 que representan a la

porción de habitantes menores de 15 años (incluyendo recién nacidos), mientras que el segmento 2 hace alusión a otros

2. Índice i: Subgrupo que representa el efecto tratado. En particular se utilizará el segmento 1 que representa mortalidad prematura, segmento 2 que representa enfermedades cardiorrespiratorias[38].

3. Vu_{ij}: Valorización del efecto tratado i sobre el subgrupo de la población j, el cual cuantifica en términos monetarios los daños en salud, que en este caso incluyen el valor de la vida estadística (VVE). Para el caso de mortalidad prematura en el subgrupo 2, se utilizó un VVE de 4,6 millones de dólares (Mardones et al., 2015). . Por otro lado, las enfermedades cardiorrespiratorias en el subgrupo 2 de la población se estimó su valor de acuerdo al costo de los días cama promedio de una clínica, el cual a partir de los estudios realizados por Alvear Vega et al. (2012), se aproxima a los 584,6 (USD).

4. $Tasabase_{ij}$: tasa base del período para el efecto tratado i sobre el subgrupo de la población j (Mardones et al. (2015)). Este parámetro señala el porcentaje promedio de casos diarios de enfermedades ocurridas en la región de Quinteros. La Tabla 4.19[39][40] resume los valores de la tasa base para diferentes efectos tratados según grupo.

Tabla 4.19: Valores para la tasa base para diferentes efectos tratados según grupo

	Casos Anuales	Casos Diarios	Tasa Base
Tasa $base^{*}_{1,2}$	2880	7,89	0,031 %
Tasa $base^{*}_{1,2}$	1340	3,67	0,014 %
Tasa $base^{**}_{2,1}$			0,503 %
Tasa $base^{**}_{2,1}$			0,503 %

Fuente: Elaboración Propia.

[38] Se define como "prematuro" antes de 1 año para el segmento 1 de la población, y antes de los 65 años para el segmento 2

[39] * Datos entregados por el departamento de estadísticas y salud (Ministerio de Salud, 2014) y Reportes comunales (Gutierrez, 2011)

[40] ** Datos que no fueron encontrados, por lo que se replica la tasa base del estudio realizado por Mardones et al. (2015)

5. $Poblacion_j$: Subgrupo de la población j. De acuerdo a datos entregados por Gutierrez (2011) la población de la comuna de Quintero asciende a un total de 26.189 habitantes, dentro del cual el 22,9 % corresponde a menores de 15 años.

6. β_i: Coeficiente de impacto para el contaminante con respecto al efecto tratado i. Este coeficiente se conoce también como factor C-R y establece la relación entre los niveles de concentración de agentes contaminantes y los efectos sobre la salud, lo cuales se moldean a través de funciones concentración-respuesta (C-R). Estudios realizados en la ciudad de Concepción entregan los valores del coeficiente de impacto para distintas relaciones concentración y efecto en la salud, los cuales se detallan en la Figura 4.13.

Grupo	Caso	Modelo	Contaminante	Coef. C-R	D. Est.	Valor-p	RR
na_tot	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000233	0,00008	0,0035	1,0236
na_15	Ingreso Hosp.	Poisson	MP10_1A7	0,000930	0,00034	0,0069	1,0974
na_15	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000475	0,00018	0,0079	1,0486
na_40	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000214	0,00010	0,0344	1,0216
j_tot	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A2	0,000561	0,00027	0,0367	1,0577
j_15	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A2	0,000900	0,00038	0,0183	1,0941
asm_64	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000938	0,00034	0,0060	1,0984
na_tot	Mortalidad	Poisson	MP10_1A6	0,001284	0,00062	0,0366	1,1370
na_tot	Mortalidad	GAM	MP10_1A6	0,001194	0,00060	0,0195	1,1269
isq_64	Mortalidad	Poisson	MP10_1A4	0,000645	0,00024	0,0065	1,0666

Figura 4.13: Coeficientes C-R en Concepción Metropolitana
Fuente: Mardones et al. (2015) .

En este caso en particular se utilizan los factores de enfermedades respiratorias, muertes prematuras y enfermedades cardiovasculares. Ahora bien, dado de tratarse de una región altamente contaminada, los datos entregados se extrapolan para ajustarse a la realidad del sector de Quinteros. En particular, de la Figura 4.13 importa el índice que tiene relación con muertes prematuras (na_{tot}) y el asociado a enfermedades del tipo respiratorio (j_{tot}). De esta forma, para ajustar cada índice a una zona con un elevado riesgo ambiental, se aumentan en un margen de 0,001 cada coeficiente, de esta forma se cumple que para muertes prematuras se tiene un coeficiente de 0,002284 y para enfermedades respiratorias un coeficiente de 0,001561.

7. Δ Agente Contaminante: Variación en 1 unidad del agente contaminante a estudiar (PM10, Concentración gases NO_2, concentración metales pesados, etc).

Cuantificación de beneficios de nuevos empleos

Para obtener el beneficio obtenido por la generación de empleos, a partir de la ejecución de una nueva empresa, se seguirán los pasos de Grupo Asesor de la Gestión de Programas y Proyectos de Inversión Pública de Colombia (2006), en donde se define que:

$$EmpleosGenerados = Numempl(year) \cdot salprom(USD/year)$$

En donde:

- numempl(year): Número de empleos directos e indirectos que se generan al año con la ejecución del proyecto de fomento en creación de nueva empresa.
- salprom(USD/year): Salario promedio anual por empleado que genere el proyecto.

4.5. Evaluación multicriterio

De acuerdo a la metodología de la evaluación multicriterio se definen:

4.5.1. Objetivo de la evaluación

Mitigar el Impacto Ambiental generado por la cercanía al Parque Industrial de Ventanas.

4.5.2. Actores involucrados

Se definen dos actores involucrados en el problema. Están quienes modelan el problema de decisión y el agente que decide en base al modelo.

El primero va a corresponder a la participación de la Comunidad de Quintero y de los académicos de la Universidad Técnica Federico Santa María, quienes serán los encargados de identificar las variables que van a definir el problema y construirán el modelo según

AHP. Para el caso de la Comunidad de Quintero, se consideró a la Junta de Vecinos de La Greda y de Loncura. En tanto los académicos de la UTFSM fueron: María Pilar Gárate Chateau (Directora Departamento de Industrias), Sandra Véliz Romero (Ingeniera de Proyectos), Rafael Gaete Rosales (Magíster en Ciencias de la Ingeniería Industrial), Javier Gutiérrez (Alumno de Ingeniería Civil Industrial, 6to Año) y Daniela Ponce (Alumna de Ingeniería Civil Industrial, 4to Año).

Los agentes decidores del modelo serán la Comunidad de Quintero, quiénes evaluarán las alternativas en base al modelo y eligen la mejor alternativa para resolver el problema encontrado. También encontramos al Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente quienes son los encargados de incentivar el uso de ERNC y de buscar alternativas para descontaminar la zona. Finalmente son las Empresas Energéticas de Quintero quienes realizarán la inversión para llevar a cabo la mejor alternativa para la resolución del problema.

4.5.3. Alternativas de proyectos

Para aplicar la metodología propuesta se deben elegir las alternativas a evaluar, en primero lugar, se considera una propuesta presentada por la ENAP (Empresa Nacional del Petróleo) la cual consiste en el reemplazo de generación de energía procedente de centrales termoeléctricas, por centrales a gas natural (GN) con el fin de generar energía más limpia y sustentable en la región de Quintero.

La propuesta contemplada en este estudio sugiere el reemplazo parcial de la generación a base combustibles fósiles por la generación de energía mediante recursos naturales, por los factores determinados de las secciones anteriores se evaluará un Parque Eólico Offshore.

Se considera como caso base la actual Central Termoeléctricas de Ventanas, considerando su actual potencia instalada de 885 MW. Para este estudio se considera la alternativa de reemplazo mediante gas natural, con una planta de 760 MW de potencia instalada. En

tanto, se considera una potencia instalada de 350 MW para el recurso eólico marino.

4.5.4. Selección de criterios

4.5.5. Criterios Sociales

Los aspectos sociales, son sin duda, un criterio muy relevante que debe ser incluido en cualquier análisis multicriterio, sobretodo cuando los proyectos a evaluar corresponden al área de la energía. La aceptación de la comunidad se ha convertido en un importante factor a considerar, tanto a nivel nacional como internacional, para la aprobación y posterior ejecución de los proyectos estratégicos energéticos. La última década en Chile estuvo marcada por una gran cantidad de proyectos de generación de energía que fueron aprobados para su ejecución, sin embargo, muchos de ellos fueron detenido debido a que la comunidad afectados se levantó en contra de ellos, esto trajo como consecuencia que los proyectos tuvieran que ir directos a la Corte Suprema, en donde se acogieron los recursos de protección hacia las comunidades, trayendo consigo la suspensión de la ejecución de los proyectos de manera permanente.

Enfermedades y Muertes:

En América Latina y el Caribe (LAC por sus siglas en inglés), por lo menos 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Cifuentes et al., 2005). Los grupos más vulnerables a los efectos dañinos de una mala calidad del aire incluyen a niños, adultos mayores, personas con previos problemas de salud y población de bajos estratos socioeconómicos. Se prevé que la contaminación del aire se convertirá en la causa ambiental principal de mortalidad prematura, por encima de aguas insalubres y falta de saneamiento teniendo en cuenta una proyección de que se duplique en el mundo el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a material particulado (MP), pasando de más de 1 millón hoy en día, a aproximadamente 3,6 millones al año en 2050 (Green y Sanchez, 2013). En la ciudad de Quintero, los altos índices en la contaminación atmosférica, debido a su cercanía con el parque industrial de Ventanas, ha tenido efectos

negativos en la salud de las personas, lo que ha generado un aumento significativo en las tasas de mortalidad y morbilidad de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, en comparación con otras ciudades de la región (Román et al., 2009).

Educación:

El correcto uso de la energía, las ventajas y desventajas de las energías alternativas y el ahorro energético son medidas que deben ser educadas a las personas para poder cuidar el medio ambiente y prevenir los cambios climáticos (Olivera Fujiwara, 2010).

Investigación e Innovación:

La realización de proyectos para la recuperación ambiental de un área contaminada, crea un incentivo para las prospecciones para estudiar y desarrollar nuevas tecnologías y estrategias orientadas a resolver y / o mitigar la contaminación (Soto y Leighton, 1999).

Concientización Ambiental:

La implementación de medidas para reducir la contaminación del aire trae la conciencia ambiental en la comunidad. Por lo tanto, las organizaciones sociales empiezan a exigir a las empresas una mejora de su proceso de obligarlas a subir incluir en los programas de recuperación ambiental. Se sabe que la conciencia ambiental está determinada por factores determinantes externos tales como los medios de comunicación, la familia y la cultura (H'Mida, 2009).

Autoestima de la Comunidad:

Altos niveles de contaminación atmosférica y los accidentes que han ocurrido en Quintero, han denigrado su imagen. La exclusión de la ciudadanía en el diseño y ejecución de programas gubernamentales para la descontaminación ha causado una disminución constante de la autoestima de la comunidad (Correa Pérez, 2012).

Aceptabilidad de la Comunidad:

La aceptación social expresa la visión general de las opiniones relacionadas con los sistemas de energía por la población local, con respecto a la hipótesis de la realización de los proyectos que se analizan desde el punto de vista del consumidor. Es extremadamente importante, ya que la opinión de la población y la presión de los grupos asociados, pueden influir en gran medida la cantidad de tiempo necesaria para seguir adelante con el proyecto de energía. La aceptación social no se expresa como una figura mesurable. No es un criterio cuantitativo sino cualitativo. Para conocer con detalle las medidas cualitativas para las diferentes alternativas de proyecto, se deben analizar los resultados obtenidos de encuestas llevadas y realizadas en la comunidades locales (Wang et al., 2009).

Creación de Empleos:

Las centrales de generación de energía emplean a muchas personas durante su ciclo de vida, desde la construcción y operación hasta la clausura de la planta. Las sociedades locales donde las plantas se establecieron basaron su desarrollo y prosperidad en ellos durante muchas décadas. Al tener un sistema energético sostenible ha traído la creación de puestos de trabaja para personas, siendo beneficioso para la calidad de vida de las poblaciones locales (Chatzimouratidis y Pilavachi, 2008).

4.5.6. Criterios Ambientales

En la última década, los aspectos ambientales se han convertido en un criterio relevante, debido a la conciencia de la población mundial respecto al progresivo cambio climático que afecta gravemente a muchos sistemas físicos y biológicos. Este proceso progresivo, y probablemente inevitable, está obligando a la adaptación de los ecosistemas a las futuras condiciones climáticas (Moreno et al., 2005).

Emisión de Partículas:

El material particulado (MP) es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas, y gotitas de líquido. La contaminación por partículas se compone de un número

de componentes, incluyendo ácidos (tales como nitratos y sulfatos), productos químicos orgánicos, metales, y partículas de suelo o de polvo. Su tamaño varía desde menos de 10 nm hasta más de 100 μm de diámetro. El riesgo para la salud humana depende del tamaño, distribución, microestructura y composición química de partículas liberadas a la atmósfera. Las emisiones de material particulado producen depósitos en las arterias de las personas que respiran tales emisiones, con los consiguientes problemas cardiovasculares (Chatzimouratidis y Pilavachi, 2007). Incrementar en 100 $\mu g/m^3$ la concentración de este material podría verse afectado en un aumento de 1.052 muertes a mayores, 1.025 muertes por enfermedades cardiovasculares y 1.017 muertes por enfermedades respiratorias (Sanhueza et al., 1999).

Emisión de Gases de Efecto Invernadero:

El aumento del efecto de calentamiento global observado durante el siglo XX se debe, probablemente, con la confianza de un 90 %, a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera causados por el desarrollo acelerado de la sociedad humana (Conde-Álvarez y Saldaña-Zorrilla, 2007).

Residuos Sólidos y Líquidos:

Es el material de desecho resultante de actividades industriales, mineras o agrícolas (Parodi, 2013). Aquellos residuos no solo pueden causar daños al ecosistemas, sino también afectar gravemente a los habitantes de los alrededores del parque industrial. La historia de los desastres ambientales, tales como derrames, inicia su vinculación a la actividad productiva del parque industrial de Ventanas da cuenta de la pertinencia de este criterio (Correa Pérez, 2012).

Cambio Climático:

El cambio climático es el responsable los notorios cambios en el aumento anual de las precipitaciones y la temperatura en todo el mundo. Además, los cambios en el uso del suelo han intensificado la explotación de los recursos naturales y exacerbado muchos procesos de degradación de suelos (Magrın et al., 2007).

Requerimiento de Tierras:

Cada planta de energía ocupa un terreno. La tierra requerida por cada planta de energía es un tema de gran preocupación para su evaluación. La tierra es valiosa, sobretodo cuando las centrales están ubicadas cerca de las áreas metropolitanas. La calidad de vida se ve afectada directamente por el terreno ocupado por las plantas, ya que podría haber sido utilizado para la creación de parques y centros de recreación (Chatzimouratidis y Pilavachi, 2008). Las excavaciones, túneles y otros trabajos necesarios para el funcionamiento de sistemas de energía desestabilizan la flora, la fauna y el ecosistema en general. Diferentes sistemas de energía ocupan tierras diferentes, mientras que los productos son los mismos (Wang et al., 2009).

4.5.7. Criterios Económicos

Los aspectos económicos son relevantes en cualquier evaluación de proyectos. Sin embargo, es importante tener en cuenta todos los beneficios económicos asociados al proyecto que esta metodología incluye beneficios no sólo directos sino también indirectos que podrían afectar a la comunidad.

Desarrollo Turismo:

El turismo debe ser planeada y controlada adecuadamente, ya que puede ayudar a lograr la conservación del medio ambiente, sino, por el contrario, puede causar el deterioro del medio ambiente. Los planificadores de turismo tienen que tener en cuenta dos cuestiones medioambientales relacionadas. Una de ellas es la conservación de características ambientales importantes y el mantenimiento de la calidad medioambiental general de la zona. La otra es la prevención, o al menos la reducción al mínimo, de los problemas ambientales que pueden resultar de turismo (Inskeep, 1988). El Turismo solía ser una de las fuentes de ingresos de Quintero. Sin embargo, la larga lista de desastres ambientales se produjo en la zona ha generado una disminución notoria en el turismo. Cualquier proyecto que podría mostrar cambios reales en la situación actual puede causar un efecto positivo en la promoción del turismo.

Tasa de Compensación:

Las tasas de compensación se refieren a compensaciones dadas a la comunidad local afectada directamente por la instalación y operación de plantas de energía. Las tasas de compensación como objetivo restablecer la degradación de los pueblos de la calidad de vida (Chatzimouratidis y Pilavachi, 2008).

Costo Energético:

La generación de energía basada en combustibles fósiles, en particular carbón presentan los costos más bajos, sin embargo, es el más contaminante combustible (Pilavachi et al., 2009). Las energías renovables, por otro lado, no presentan ningún coste asociado a la fuente de energía, ya que está presente en la naturaleza. Sin embargo, su disponibilidad que intermitente y dependerá en: condiciones del clima, ubicación, etc., aumenta la energía los costos de generación.

Uso de Agua:

El agua es un elemento vital para todos los seres vivos, así como para muchos procesos industriales que las plantas de generación de energía tienen para su funcionamiento. Las plantas de generación de energía a partir de recursos convencionales tienen un alto nivel de consumo de agua durante el ciclo de producción, mientras que las energías renovables no convencionales tienen un consumo de agua (Macknick et al., 2012).

Aprovechamiento de recursos energéticos naturales:

En la última década la disponibilidad de recursos energéticos renovables se ha convertido en un activo económico que podría generar el efecto positivo en la economía de la región en la que esos recursos están presentes. Beneficios de los recursos energéticos renovables han llamado mucho la atención de los académicos y profesionales sobre todo después de Protocolo de Kyoto (Menegaki, 2008).

4.5.8. Árbol de Jerarquía

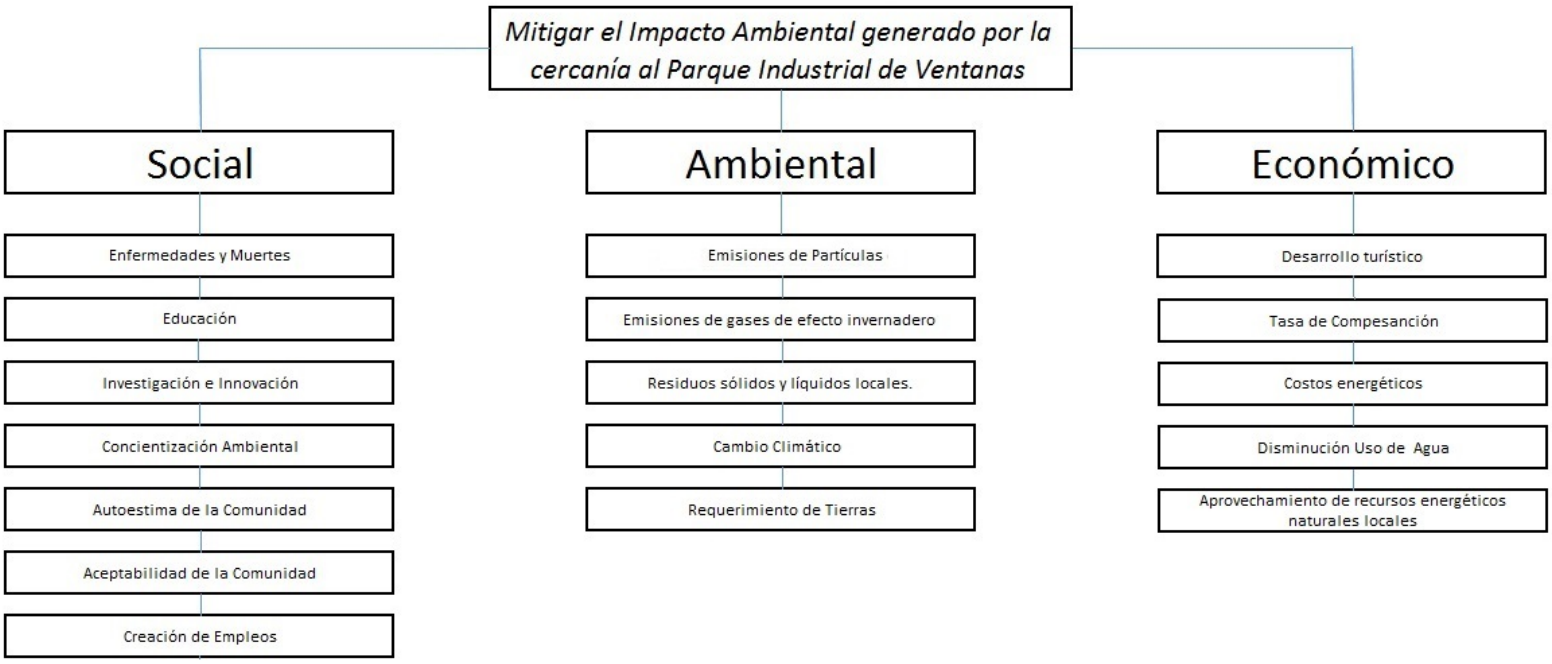


Figura 4.14: Árbol de Jerarquía de la Evaluación
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4.14, se puede apreciar una serie de beneficios que están agrupados en su correspondiente clasificación (social, ambiental, económico). Es muy importante definir claramente los criterios y subcriterios en esta evaluación, pues a partir de éstos se asignarán las ponderaciones respectivas.

A continuación se definen cada uno de los subcriterios escogidos, su respectivo objetivo asociado y la escala de evaluación que tienen cada uno de ellos.

4.5.9. Definición de puntuación de los criterios

Beneficios Sociales

1) Enfermedades y muertes:

Criterio: Social
Subcriterio: A1. Enfermedades y muertes.
Objetivo Asociado: Min [Enfermedades y muertes].
Indicador: Enfermedades y muertes.
Definición: Apreciación cualitativa sobre los potenciales efectos que tengan en las personas con respectos a las enfermedades y muertes a causa de la contaminación del aire.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Aumentarán considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire. 2 Habrá un leve aumento en las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire. 3 Se mantendrán las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire. 4 Habrá una leve disminución las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire. 5 Disminuirán considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire.

2) Educación:

Criterio: Social
Subcriterio: A2. Educación.
Objetivo Asociado: Max [Educación].
Indicador: Educación
Definición: Nivel de contribución a la educación que traería en la comunidad sede la realización del proyecto, con respecto a la utilización de ERNC y al cuidado del medio ambiente.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Muy baja contribución a la educación. 2 Baja contribución a la educación. 3 Mediana contribución a la educación. 4 Alta contribución a la educación. 5 Muy alta contribución a la educación.

3) Investigación e Innovación:

Criterio: Social
Subcriterio: A3. Investigación e Innovación.
Objetivo Asociado: Max [Investigación e Innovación].
Indicador: Investigación e Innovación.
Definición: Apreciación cualitativa sobre el incentivo a la investigación e innovación en la ciudad sede con respecto a la descontaminación de ésta, y sobre nuevas oportunidades a nivel nacional.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Ningún incentivo de investigación e innovación. 2 Bajo incentivo a la investigación e innovación. 3 Mediano incentivo a la investigación e innovación. 4 Alto incentivo a la investigación e innovación. 5 Muy Alto incentivo a la investigación e innovación.

4) Concientización Ambiental:

Criterio: Social
Subcriterio: A4. Concientización Ambiental.
Objetivo Asociado: Max [Concientización Ambiental].
Indicador: Concientización Ambiental.
Definición: Apreciación cualitativa sobre el cambio en la conciencia de los actores involucrados sobre el cuidado del medio ambiente y el problema actual que acontece en la zona.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 No se crea conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona. 2 Se crea baja conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona. 3 Se crea conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona. 4 Se crea alta conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona. 5 Se crea muy alta conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona.

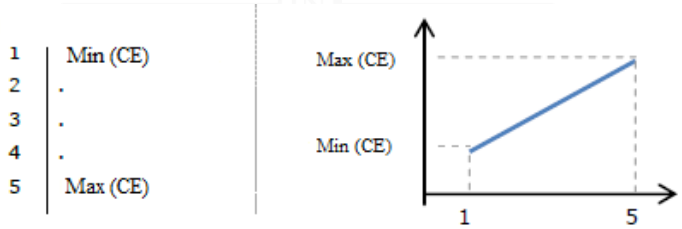
5) Autoestima de la Comunidad:

Criterio: Social
Subcriterio: A5. Autoestima de la Comunidad.
Objetivo Asociado: Max [Autoestima de la Comunidad].
Indicador: Autoestima de la Comunidad.
Definición: Apreciación cualitativa sobre el cambio en la autoestima de la comunidad la realización de un proyecto de ERNC.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Efecto Negativo en la autoestima de la comunidad. 2 Leve empeoramiento en la autoestima de la comunidad. 3 Mantiene la imagen de la autoestima de la comunidad. 4 Leve mejora en la imagen de la autoestima de la comunidad. 5 Efecto Positivo en la imagen de la autoestima de la comunidad.

6) Aceptación de la comunidad:

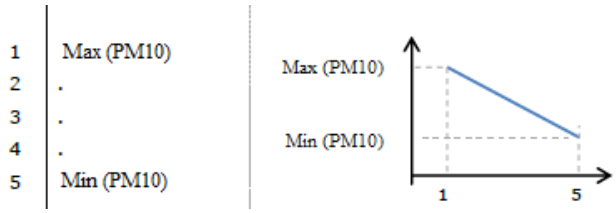
Criterio: Social
Subcriterio: A6. Aceptación de la comunidad.
Objetivo Asociado: Max [Aceptación de la comunidad].
Indicador: Aceptación de la comunidad.
Definición: Nivel de aceptación de la comunidad sobre la instalación y funcionamiento del proyecto que tiene la comunidad sede del proyecto.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Muy baja aceptación. 2 Baja aceptación. 3 Mediana aceptación. 4 Alta aceptación. 5 Muy alta aceptación.

7) Creación de Empleos:

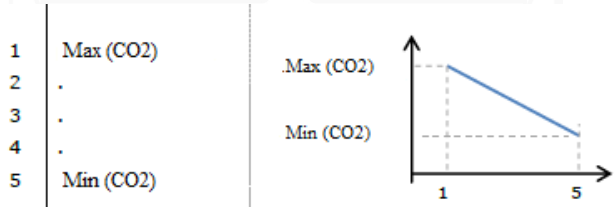
Criterio: Social
Subcriterio: A7. Creación de Empleos.
Objetivo Asociado: Max [Creación de empleo].
Indicador: Creación de empleo/unidad de potencia a instalar.
Definición: Número de empleos que se estima generen las actividades relacionadas con la ejecución, funcionamiento, mantenimiento y desmantelamiento de las nuevas unidades de producción, distribuido en la vida estimada del proyecto y por cada unidad de potencia a instalar.
Unidades: Empleos/MW efectivos.
Escala: 

Beneficios Ambientales

1) Emisiones de partículas (PM10):

Criterio: Ambiental
Subcriterio: B1. Emisiones de partículas.
Objetivo Asociado: Min [Emisiones de partículas/Kwh].
Indicador: Emisiones de partículas /unidad de energía a obtener (PM10).
Definición: Emisiones estimadas de partículas con diámetro igual o menor a 10 μm por unidad de energía a obtener, para el ciclo de vida del proyecto.
Unidades: mg (PM10) equivalente/kWh.
Escala: 

2) Emisiones de gases tipo invernadero:

Criterio: Ambiental
Subcriterio: B2. Emisiones de gases tipo invernadero.
Objetivo Asociado: Min [Emisiones de gases tipo invernadero/kwh].
Indicador: Emisiones de gases tipo invernadero /unidad de energía a obtener (EGI).
Definición: Suma de las emisiones estimadas de gases de tipo invernadero que incluyen CO_2, CH_4 y N_2O, expresadas en CO_2 equivalente por unidad de energía a obtener y para el ciclo de vida del proyecto.
Unidades: mg CO2 equivalente/kWh.
Escala: 

3) Residuos sólidos y líquidos Locales:

Criterio: Ambiental
Subcriterio: B3. Residuos sólidos y líquidos Locales.
Objetivo Asociado: Min [Efecto de residuos sólidos y líquidos].
Indicador: Residuos sólidos y líquidos.
Definición: Apreciación cualitativa de los potenciales efectos que sobre el ambiente y la salud de la comunidad se estima tengan los residuos asociados a la cadena energética bajo estudio. Los residuos pueden ser sólidos, semisólidos, líquidos o contener material gaseoso [U.S.EPA, 1999].
Unidades: Apreciación cualitativa, combinación de la información arriba descrita.
Escala:

1	Muy alto impacto
2	Alto impacto
3	Mediano impacto
4	Bajo impacto
5	Muy bajo impacto

4) Cambio Climático:

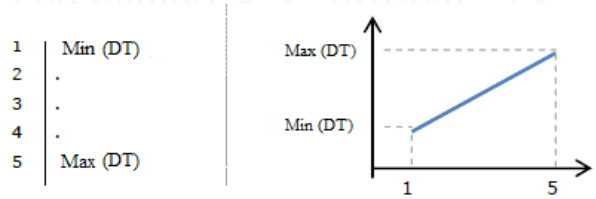
Criterio: Ambiental
Subcriterio: B4. Cambio Climático.
Objetivo Asociado: Min [Cambio Climático].
Indicador: Cambio Climático.
Definición: Apreciación cualitativa sobre la mitigación del cambio climático que se generaría durante el ciclo de vida del proyecto en la ciudad sede.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala: 1 Muy baja intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. 2 Baja intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. 3 Mediana intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. 4 Alta intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. 5 Muy alta intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático.

5) Requerimiento de Tierras:

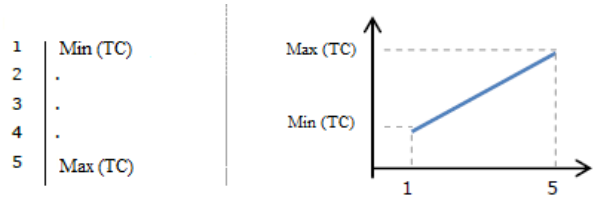
Criterio: Ambiental
Subcriterio: B5. Requerimiento de Tierras.
Objetivo Asociado: Min [Otros efectos ambientales por cambio de uso de la tierra].
Indicador: Requerimiento de Tierras.
Definición: Apreciación cualitativa que combina los efectos sobre la biodiversidad, la afectación del paisaje y el nivel de ruido que se estima tendrá la instalación y operación de las instalaciones del proyecto, en función de la extensión de tierra ocupada y la intensidad de su uso.
Unidades: Apreciación cualitativa, combinación de la extensión de tierra requerida y el número de la intensidad de los cambios sobre ella.
Escala: 1 Muy alta intensidad de impacto sobre dos o más de los elementos citados. 2 Alta intensidad de impacto sobre dos o más de los elementos citados. 3 Mediana intensidad de impacto sobre uno o más de los elementos citados. 4 Baja intensidad de impacto sobre uno o más de los elementos citados. 5 Intensidad de impacto nula o muy baja.

Beneficios Económicos

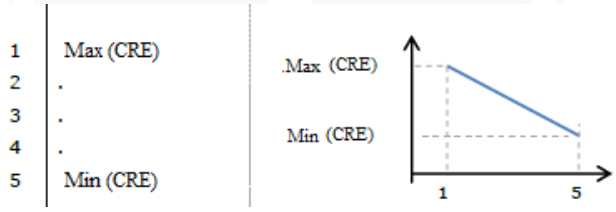
1) Desarrollo turístico:

Criterio: Económico
Subcriterio: C1. Desarrollo turístico
Objetivo Asociado: Max [Desarrollo turístico]
Indicador: % Desarrollo Turístico (DT).
Definición: % de Aumento en la contribución al desarrollo turístico de la ciudad sede, con la realización del proyecto.
Unidades: %
Escala: 

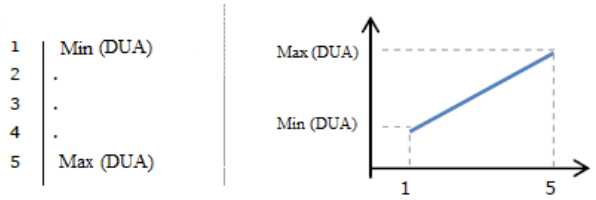
2) Tasa de Compensación:

Criterio: Económico
Subcriterio: C2. Tasa de Compensación
Objetivo Asociado: Max [Tasa de Compensación]
Indicador: Tasa de Compensación (TC)
Definición: Son compensaciones dadas a la comunidad local afectada directamente por la instalación y operación de las centrales. Las tasas de compensación tienen por objeto la restauración de la degradación de la calidad de vida de las personas.
Unidades: Unidades Monetarias.
Escala: 

3) Costos energéticos:

Criterio: Económico.
Subcriterio: C3. Costos energéticos.
Objetivo Asociado: Min [Costos energéticos].
Indicador: Costos energéticos / unidad de energía a obtener (CRE).
Definición: Utilización de energías primarias para la generación de electricidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto, expresado en unidades monetarias reales por unidad de energía que se estima producir.
Unidades: Unidades monetarias / MWh.
Escala: 

4) Disminución Uso de Agua:

Criterio: Económico
Subcriterio: C4. Disminución Uso de Agua.
Objetivo Asociado: Max [Disminución Uso de Agua].
Indicador: % Disminución Uso de Agua (DUA).
Definición: Fracción de disminución de la cantidad de agua (en la zona) que se estimará que dejará de utilizar con el proyecto.
Unidades: %
Escala: 

5) Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales:

Criterio: Económico
Subcriterio: C5. Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales.
Objetivo Asociado: Max [Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales].
Indicador: Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales.
Definición: Apreciación cualitativa sobre la utilización de los recursos energéticos naturales de la zona sede.
Unidades: Apreciación cualitativa.
Escala:

1	Nulo uso de las recursos energéticos naturales locales.
2	Bajo uso de las recursos energéticos naturales locales.
3	Mediano uso de las recursos energéticos naturales locales.
4	Alto uso de las recursos energéticos naturales locales.
5	Muy alto uso de las recursos energéticos naturales locales.

4.5.10. Realización de encuestas

El siguiente paso de esta metodología es el llenado de la matriz de juicio, y la asignación de la evaluación para los diferentes beneficios dependiendo de la alternativa a evaluar.

La encuesta de llenado de la matriz de juicio se considera la opinión de diferentes actores que van a estar involucrados en la participación de la realización de las alternativas (Se veerá en el Capítulo 5.4). En esta encuesta los actores tendrán que ver la importancia relativa que tendrán los beneficios entre ellos, para poder determinar el peso que se les asignará finalmente en la evaluación. Sin embargo, dentro de los actores que participarán en esta encuesta se encuentra la comunidad de Quintero la cual responderá otra encuesta[41], para que luego se analice y se llene la matriz de juicios. Ambas encuestas son presentadas en Anexos A.3 y A.4.

[41] Por temas de simplicidad y de tiempo se les realiza una encuesta especial, la cual considera solamente que se enumeren los beneficios de más importante a menos importante.

Para la asignación de la evaluación de las alternativas se realiza una encuesta (Ver Anexos A.3) solamente a la comunidad de Quintero, la razón de lo anterior se debe a que se quiere hacer partícipe a la comunidad, para ello se les cuenta el objetivos de ambas alternativas y se les considera su opinión.

La realización de estas encuestas se realiza en dos zonas estratégicas de Quintero. La primera es en en la comuna de Loncura, la cual se ubica al sur del Parque Industrial; mientras que la segunda se realiza en La Greda, lugar que se encuentra muy cercano al Parque Industrial. La razón del por qué se realiza esta segregación es para conocer distintas realidades que se viven cerca de un mismo sector, dentro de la cual tenemos que los primeros se ven afectados de manera indirecta al Parque Industrial, en tanto que la segunda zona viven en el lugar y son afectados de manera directa por éste.

Para poder obtener una muestra representativa de la población debemos definir la población total de habitantes de Quintero, el nivel de confianza que queremos en nuestra muestra y el margen de error que tendremos. Tomando en consideración una población de aproximadamente 20.000 habitantes, un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 8 %, se necesitan realizar 150 encuestas. Del total de encuestas a realizar se dividen en cantidades iguales para la distribución de las dos zonas, es decir 75 encuestas en Loncura y 75 encuestas en La Greda, lo cual es una muestra significativa de la población de Quintero.

5 | Análisis de resultados

5.1. Evaluación económica

5.1.1. Resultados de evaluación económica

Se realiza un flujo de caja con todos los datos ingresados, y se obtienen los valores para el VAN, TIR y Payback (Tabla 5.1), considerando una tasa de descuento del 10 %:

Tabla 5.1: Indicadores de los Resultados del Proyecto

VAN	- 1.021.061.320 (USD)
TIR	0,82 %
Payback	28 (Años)

Fuente: Elaboración Propia.

Como era de esperarse el proyecto en su vida de instalación da un VAN negativo, lo cual sugiere que económicamente no es rentable, a menos que disminuya la tasa de descuento (a un valor menor a la TIR).

Sin embargo, la evaluación económica no ha considerado algunos beneficios sociales que podría generar la realización del Parque Eólico Offshore en una zona históricamente dañada ambientalmente.

5.1.2. Análisis de sensibilidad

En esta sección se hará un análisis sobre los indicadores económicos (VAN, TIR), a partir de variaciones que se realizarán sobre la Inversión y % de Deuda. Los resultados se

presentan en la Figura 5.1, la cual se presenta a continuación:

0	Recursos Ajenos	60%	68%	75%	83%	90%
	Varición	-20,00%	-10,00%	0,00%	10,00%	20,00%
Inversión	Varición	VAN (USD)				
-$ 761.040.000	-20,00%	-$ 706.720.003	-$ 721.141.984	-$ 735.563.966	-$ 749.985.947	-$ 764.432.030
-$ 856.170.000	-10,00%	-$ 845.614.646	-$ 861.870.005	-$ 878.125.364	-$ 894.380.722	-$ 910.636.081
-$ 951.300.000	0,00%	-$ 984.938.301	-$ 1.002.999.810	**-$ 1.021.061.320**	-$ 1.039.122.830	-$ 1.057.184.340
-$ 1.046.430.000	10,00%	-$ 1.124.596.234	-$ 1.144.463.895	-$ 1.164.331.555	-$ 1.184.199.216	-$ 1.204.066.877
-$ 1.141.560.000	20,00%	-$ 1.264.254.167	-$ 1.285.927.979	-$ 1.307.601.791	-$ 1.329.275.602	-$ 1.350.949.414

10%	Recursos Ajenos	60%	68%	75%	83%	90%
	Varición	-20,00%	-10,00%	0,00%	10,00%	20,00%
Inversión	Varición	TIR (%)				
-$ 761.040.000	-20,00%	2,37%	2,26%	2,16%	2,06%	1,97%
-$ 856.170.000	-10,00%	1,65%	1,55%	1,45%	1,35%	1,25%
-$ 951.300.000	0,00%	1,02%	0,92%	**0,82%**	0,73%	0,63%
-$ 1.046.430.000	10,00%	0,47%	0,37%	0,27%	0,18%	0,08%
-$ 1.141.560.000	20,00%	-0,02%	-0,12%	-0,22%	-0,32%	-0,41%

Figura 5.1: Análisis de Sensibilidad sobre los Indicadores Económicos
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede apreciar en la Figura 5.1, este proyecto tiene una gran sensibilidad en cuanto al valor que tenga la inversión, pues ante una disminución en este ítem trae consecuencias favorables a los indicadores económicos mencionados. Cabe mencionar que ante un aumento del 20 % de la inversión el proyecto se vuelve no rentable económicamente en todos sus aspectos.

A su vez al sensibilizar el proyecto con respecto a su relación de deuda se aprecia que ante una baja de este ratio, el comportamiento de los indicadores económicos es favorable pues se reducen los costos financieros que se producen anualmente. Al buscar un punto de inflexión para este ítem, se puede observar que dadas la gran dimensión del costo de la inversión, no existe una relación de deuda que marque la inflexión entre la mejor opción, por lo que se mantiene la observación realizada.

Dado que solamente se tiene una aproximación a los ahorros y costos de este proyecto, no es posible realizar la sensiblización a otros parámetros.

5.2. Evaluación social

Se realiza la evaluación social utilizando los precios sociales y factores de corrección, para obtener el VAN Social (Tabla 5.3) del proyecto, considerando una tasa social de descuento de un 6 %.

5.2.1. Resultados de evaluación social

En primer lugar se da una valorización del beneficio económico para la comuna de Quintero, de la disminución de la tasa de Morbilidad y Mortalidad, a partir de la disminución de las fuentes de contaminación.

Para el Segmento 1, tenemos:

$$\begin{aligned}
\Delta Beneficio &= 4,59MMUSD * 20192[hab] * 0,00014018 * 0,002284 * 1 + \\
&\quad 584,6 * 20192[hab] * 0,503 * 0,001561 * 1 \\
\Delta Beneficio &= 21{,}689(USD)
\end{aligned}$$

Para el Segmento 2, tenemos:

$$\begin{aligned}
\Delta Beneficio &= 4,59MMUSD * 20192[hab] * 0,00014018 * 0,002284 * 1 + \\
&\quad \$584,6 * 20192[hab] * 0,503 * 0,001561 * 1 \\
\Delta Beneficio &= 38{,}733(USD)
\end{aligned}$$

En la Tabla 5.2 se presenta un resumen de lo anterior:

Tabla 5.2: Valorización Económica Tasa de Morbilidad y Mortalidad

Segmento 1	21.689 (USD)
Segmento 2	38.733 (USD)
Beneficio Total	50.422 (USD)

Fuente: Elaboración Propia.

Además se obtiene la valorización del beneficio de creación de nuevos empleos, de acuerdo a la Grupo Asesor de la Gestión de Programas y Proyectos de Inversión Pública de Colombia (2006), en donde, el número de nuevos empleos al año se obtiene de la Figura 5.7[42], en tanto que se estima que el salario promedio anual para este tipo de industrias es de 5.500 (USD)[43]. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} EmpleosGenerados &= Numempl(year) \cdot salprom(USD/year) \\ &= 2{,}200 \cdot 5{,}500 \\ &= 12{,}100{,}000(USD) \end{aligned}$$

Luego, y en base al ajuste que se realiza por los precios sociales y los beneficios cuantificables, se obtiene el VAN Social del proyecto, el cual se detalla en la Tabla 5.3:

Tabla 5.3: Indicadores de los Resultados del Proyecto, a nivel Social

VAN Social	111.091.895 (USD)
TIR	6,94 %

Fuente: Elaboración Propia.

[42]Tomando en consideración la diferencia de empleos generados por el Parque Eólico Offshore

[43]La industria eólica de California destina anualmente cerca de $ 31 millones de dólares al pago del salario de sus empleos (5.600). Esta información fue obtenida de American Wind Energy Association (AWEA) (US Department of Energy (USDOE), 1997)

5.3. Evaluación multicriterio

5.3.1. Asignación de pesos a los criterios

La asignación de sus respectivas importancias relativas es un proceso donde deben participar no sólo los analistas y expertos, sino los representantes de las comunidades afectadas por la ejecución del mismo.

Para este caso se toma en consideración la opinión de gran parte de los actores involucrados, para poder obtener los pesos de los criterios y los subcriterios respectivos, con lo cual se representa de buena manera la realidad de la comunidad con respecto a este punto.

En la Tabla 5.4 muestra la configuración de muestra de expertos entrevistada. En esta oportunidad, se consideró conveniente tomar opinión de académicos (G1), de estudiantes cursando su último año de Ingeniería (G2) y algunos representantes de la comunidad de Quintero (G3).

Tabla 5.4: Distribución muestra de expertos para asignación de pesos

Grupo	Entrevista Individual	Entrevista Grupal	Total de Encuestas
Grupo 1 (Académicos)	3	0	3
Grupo 2 (Estudiantes Último Año Ingeniería)	2	0	2
Grupo 3 (Comunidad Quintero)	0	20	20

Fuente: Elaboración Propia.

Como puede observarse, la muestra de personas a entrevistar se dividió en:

- Grupo 1. Conformado por profesionales cuidadosamente seleccionados, de amplia trayectoria profesional y/o académica en el país, con experiencia laboral en el sector público y/o privado, expertos en las áreas de energía, energías renovables, planificación y políticas públicas, proyectos y métodos de análisis multicriterios.
- Grupo 2. Conformado por estudiantes de último año de Ingeniería Civil Industrial de

la Universidad Federico Santa María, Santiago, Chile respectivamente relacionados con el área de energía.

- Grupo 3. Conformado por representantes de la Comunidad de Quintero, quiénes mostraron mayor interés en la idea de este trabajo.

5.3.2. Levantamiento de la información

La recolección de la información necesaria para cumplir con los objetivos enunciados se realizó con ayuda de un instrumento especialmente diseñado a los efectos. A cada persona y grupo de opinión directamente consultado, se explicó detalladamente el alcance y estructuración del modelo de valor; y paralelamente a la entrega de material escrito con breves definiciones de cada uno de los criterios de evaluación incluidos, se contestaron preguntas y aclararon dudas sobre su significado, características de medición, escala y justificación.

5.3.3. Información para la estimación de los pesos de los criterios

A cada entrevistado de los grupos 1, 2 y 3 se le solicitó opinión sobre la importancia relativa de los criterios de evaluación en el modelo. La información fue registrada en una encuesta estructurada como un grupo de matrices de juicios de valor. A cada grupo de criterios o subcriterios del modelo propuesto correspondió una matriz para el registro de los resultados de la comparación por pares de los criterios del grupo. La Figura 5.2 muestra dos tipos correspondientes respectivamente a grupos seleccionados de criterios. Los criterios en cada grupo encabezan las filas (con sus nombres y códigos) y las columnas de la matriz (con sus códigos). La encuesta completa se presenta en el Anexo A.3.

En las celdas en blanco sobre la diagonal de cada matriz, se colocan las respuestas, $C_{i,j}$, a la pregunta: ¿Con relación al criterio inmediatamente superior, cuanto más importante es el criterio i que el criterio j? La respuesta se expresa en la escala de Saaty (Ver Tabla 3.12) y se copia en la celda de la matriz que corresponde a la fila i y a la columna j. Si el criterio i es más importante que el criterio j, la respuesta es un número n >1. Si el criterio

j es más importante que el criterio i, la respuesta es 1/n. Si ambos criterios son igualmente importantes, la respuesta es 1.

Criterios		C1	C2	C3	
C1	Sociales	1			Responda: Cuánto más importante es C1 que C2? Y que C3? Y de C2 que C3?
C2	Ambientales		1		
C3	Económicos			1	

Criterios Ambientales (C2)		C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C2.5	
C2.1	Emisión de Partículas	1					Responda: Cuánto más importante es C2.1 que C2.2? Y que C2.3? y así sucesivamente hasta completar los espacios?
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero		1				
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos			1			
C2.4	Cambio Climático				1		
C2.5	Requerimiento de Tierras					1	

Figura 5.2: Matrices de juicios para levantamiento de la información
Fuente: Elaboración Propia.

5.3.4. Procesamiento de la información y resultados

La información recogida fue revisada, clasificada por tipo de encuestados e introducida a la aplicación informática Expert Choice[44] que facilita el procesamiento de los juicios de valor aportados por múltiples actores; consolida los resultados individuales, calcula las relaciones de consistencia individuales y del grupo; y finalmente, proporciona los pesos de los criterios.

La información fue procesada por grupos; y para toda la muestra. Los coeficientes de consistencia individuales y para cada uno de los grupos conformados, fueron constantemente supervisados. La figura 5.3 muestra la pantalla suministradas por el Expert Choice cuando se consolidan las opiniones de todos los entrevistados.

En primer lugar se debe verificar que cada una de las encuestas realizadas cumpla con la consistencia en cada uno de los grupos. La aplicación de Expert Choice hace el cálculo automáticamente, pero siguiendo la matemática presentada en el marco teórico, resolveremos el vector de prioridades.

[44] Ver más información en http://www.expertchoice.com

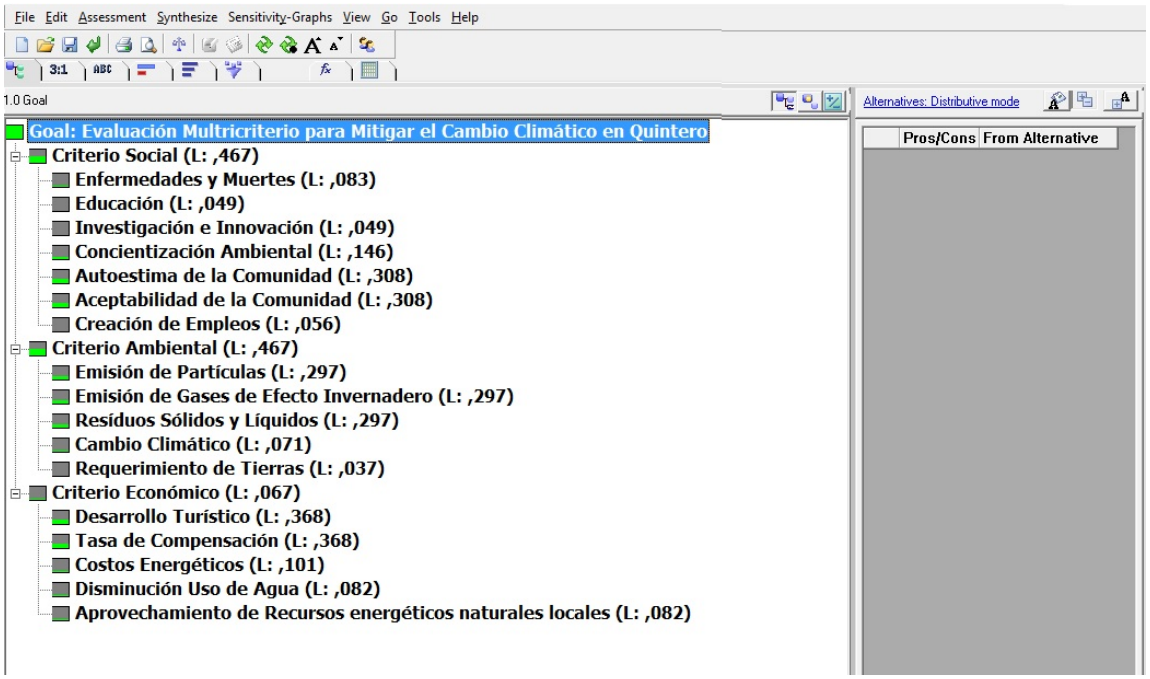


Figura 5.3: Modelo de valor para la evaluación de proyecto para mitigar el cambio climático en Quintero. Se consideran los grupos 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración Propia.

Trabajaremos con la primera matriz de juicio, la cual contiene los criterios generales:

Tabla 5.5: Matriz de juicio para los Criterios Generales

Criterios Generales	C. Sociales	C. Ambientales	C. Económicos
C. Sociales	1	1	7
C. Ambientales	1	1	7
C. Económicos	1/7	1/7	1

Fuente: Elaboración Propia.

Dado los resultados de la Tabla 5.5 se aprecia como hoy en día se busca no solo el tema económico, pues se ve como los beneficios sociales y ambientales han tomado un peso notoriamente superior a los económicos, por lo que se ve que el aspecto económico no será tan relevante a como lo era años atrás.

A continuación se realizará una muestra de cómo obtener los vectores de prioridades desarrollados para esta matriz:

1. Se realiza la suma por columna de los elementos de la matriz:

- Suma Columna 1: 1 + 1 + 1/7 = 2,14
- Suma Columna 2: 1 + 1 + 1/7 = 2,14
- Suma Columna 3: 7 + 7 + 1 = 15,00

2. Se divide cada elemento de la columna por la suma total de sus elementos, mostrada en la Tabla 5.6:

Tabla 5.6: Cálculo del vector de prioridades para criterios generales de evaluación

Criterios Generales	C. Sociales	C. Ambientales	C. Económicos
C. Sociales	$\frac{1}{2{,}14} \approx 0{,}467$	$\frac{1}{2{,}14} \approx 0{,}467$	$\frac{7}{15} \approx 0{,}467$
C. Ambientales	$\frac{1}{2{,}14} \approx 0{,}467$	$\frac{1}{2{,}14} \approx 0{,}467$	$\frac{7}{15} \approx 0{,}467$
C. Económicos	$\frac{1/7}{2{,}14} \approx 0{,}067$	$\frac{1/7}{2{,}14} \approx 0{,}067$	$\frac{1}{15} \approx 0{,}067$

Fuente: Elaboración Propia.

3. Ahora se promedian los elementos por fila, y se obtiene el vector de prioridades:

   - Fila 1: $\dfrac{(0,467 + 0,467 + 0,467)}{3} \approx 0{,}467$
   - Fila 2: $\dfrac{(0,467 + 0,467 + 0,467)}{3} \approx 0{,}467$
   - Fila 3: $\dfrac{(0,067 + 0,067 + 0,067)}{3} \approx 0{,}067$

   Entonces el vector columna de prioridades es (0,467; 0,467; 0,067) e indica que la ponderación para los criterios sociales corresponden al 46,7 %, los criterios ambientales tienen un 46,7 % en su ponderación, y los criterios económicos se les asigna una ponderación del 6,7 %.

4. Se debe validar las ponderaciones obtenidas por los criterios en la matriz de juicios, para ello se debe calcular el índice de consistencia (IC) para luego compararlo con el índice aleatorio (IA), y obtener la razón de consistencia (RC), con la cual se podrá determinar si las ponderaciones y los juicios son consistentes.

   Recordemos que el IC se calcula a través de la siguiente relación:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}$$

Para obtener lo anterior, debemos determinar el valor de σ_{max}, el cual de acuerdo a Saaty (1980) se puede obtener de la siguiente expresión:

$$R \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$$

En donde R es la matriz de juicios y w el vector de prioridades. Por lo tanto al multriplicar la matriz R por el vector de prioridades obtenemos:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 \\ 1 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,467 \\ 0,467 \\ 0,067 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,403 \\ 1,403 \\ 0,200 \end{bmatrix}$$

Ahora se dividen las componentes del vector columna obtenido, por las correspondientes componentes del vector de prioridades:

$$\begin{bmatrix} 1,403/0,467 \\ 1,403/0,467 \\ 0,200/0,067 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,00 \\ 3,00 \\ 2,99 \end{bmatrix}$$

Ahora se promedian las componentes del nuevo vector columna, y el resultado obtenido es el valor de λ_{max}:

$$\frac{(3,00 + 3,00 + 2,99)}{3} \approx 3,00$$

Ahora se procede a calcular el IC:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} = \frac{(3-3)}{(3-1)} = 0,000$$

Sabiendo que la n (dimensión de la matriz) = 3, y buscando el IA en la tabla de Saaty 3.34, se encuentra un valor de IA= 0,525. Entonces utilizando la Razón de Consistencia (RC):

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0,000}{0,525} = 0,000$$

Por lo tanto como RC es igual a 0, se puede decir que la matriz de juicios es consistente, al igual que el vector de prioridades. Recordemos además que si el valor de RC es menor que 0,1, se puede decir que la matriz de juicios tiene una inconsistencia dentro de lo aceptable, por lo que las ponderaciones del vector de prioridades se consideran consistentes.

Como ya se mencionó, para el resto de la matrices de juicios se utilizará el software Expert Choice, el cual los calcula de manera automática, siempre recordando que la razón de consistencia debe ser menor a 0,1 para ser aceptada.

1. Criterios Sociales: En la Tabla 5.7 y la Figura 5.4 se presentan la matriz de juicio y el razón de consistencia para el criterio de beneficios Sociales, respectivamente.

Tabla 5.7: Matriz de juicio para los Criterios Sociales

Criterios Sociales (C1)		**C1.1**	**C1.2**	**C1.3**	**C1.4**	**C1.5**	**C1.6**	**C1.7**
C1.1	Enfermedades y Muertes	1	3	3	1/3	1/5	1/5	1
C1.2	Educación	1/3	1	1	1/3	1/5	1/5	1
C1.3	Investigación e Innovación	1/3	1	1	1/3	1/5	1/5	1
C1.4	Concientización Ambiental	3	3	3	1	1/3	1/3	3
C1.5	Autoestima de la Comunidad	5	5	5	3	1	1	5
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	5	5	5	3	1	1	5
C1.7	Creación de Empleos	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1

Fuente: Elaboración Propia.

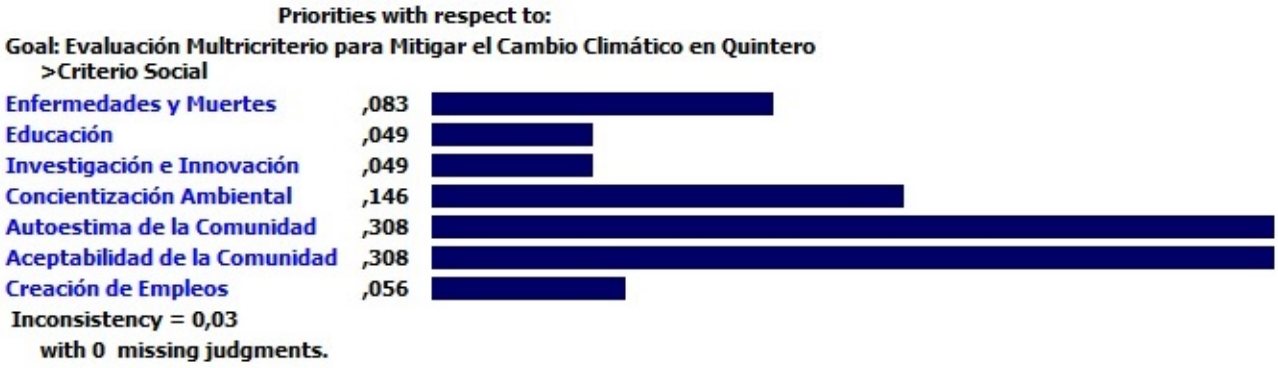


Figura 5.4: Prioridades para los beneficios sociales
Fuente: Obtenido con Expert Choice..

En base a la información en la Figura 5.4 se puede apreciar que para los criterios sociales, los beneficios de Autoestima de la Comunidad (30,8 %) y Aceptabilidad de la Comunidad (30,8 %) toman una gran importancia, esto se debe principalmente a que en una ciudad tan dañada ambientalmente, la gente ya está cansada de que se sigan generando proyectos de generación de energías sin la aceptación de aquellos que viven en los lugares aledaños al Parque Industrial de Ventanas, en tanto que la autoestima es considerada también un beneficio de gran relevancia, pues con todos los problemas que ha traído el Parque Industrial, la contaminación y todos los accidentes que han ocurrido en los últimos años la imagen de la ciudad se ha venido abajo, por lo que es muy importante considerar estos temas.

2. Criterios Ambientales: En la Tabla 5.8 y la Figura 5.5 se presentan la matriz de juicio

y el razón de consistencia para el criterio de beneficios Sociales, respectivamente.

Tabla 5.8: Matriz de juicio para los Criterios Ambientales

Criterios Ambientales (C2)		**C2.1**	**C2.2**	**C2.3**	**C2.4**	**C2.5**
C2.1	Emisión de Partículas	1	1	5	5	7
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	1	1	5	5	7
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	1	1	1	5	7
C2.4	Cambio Climático	1/5	1/5	1/5	1	3
C2.5	Requerimiento de Tierras	1/7	1/7	1/7	1/3	1

Fuente: Elaboración Propia.

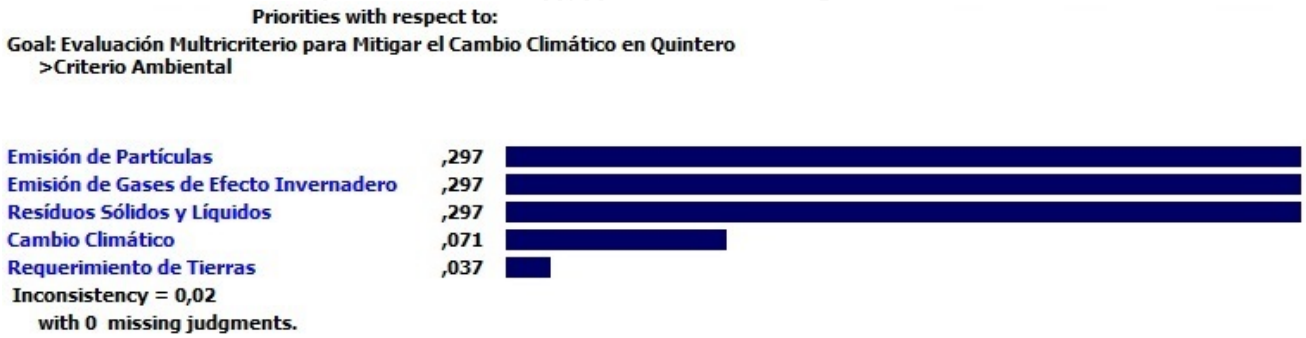


Figura 5.5: Prioridades para los beneficios ambientales
Fuente: Obtenido con Expert Choice..

En la Figura 5.5 se aprecia que los criterios ambientales, los beneficios de la disminución de la emisión de partículas (29,7 %), la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (29,7 %) y la baja de los resíduos sólidos y líquidos (29,7 %) son considerados los beneficios más importantes en este apartado, dejando de lado los otros beneficios del cambio climático (7,1 %) y Requerimiento de Tierras (3,7 %). Esto se debe principalmente a que la Comunidad está más preocupada de que bajen los índices de contaminación a niveles permitidos para vivir, a que se sigan utilizando zonas naturales en la ciudad de Quintero.

3. Criterios Económicos:En la Tabla 5.9 y la Figura 5.6 se presentan la matriz de juicio y el razón de consistencia para el criterio de beneficios Sociales, respectivamente.

Tabla 5.9: Matriz de juicio para los Criterios Económicos

Criterios Económicos (C3)		**C3.1**	**C3.2**	**C3.3**	**C3.4**	**C3.5**
C3.1	Desarrollo Turístico	1	1	3	5	5
C3.2	Tasa de Compensación	1	1	3	5	5
C3.3	Costos Energéticos	1/3	1/3	1	1	1
C3.4	Disminución de Uso de Agua	1/5	1/5	1	1	1
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	1/5	1/5	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia.

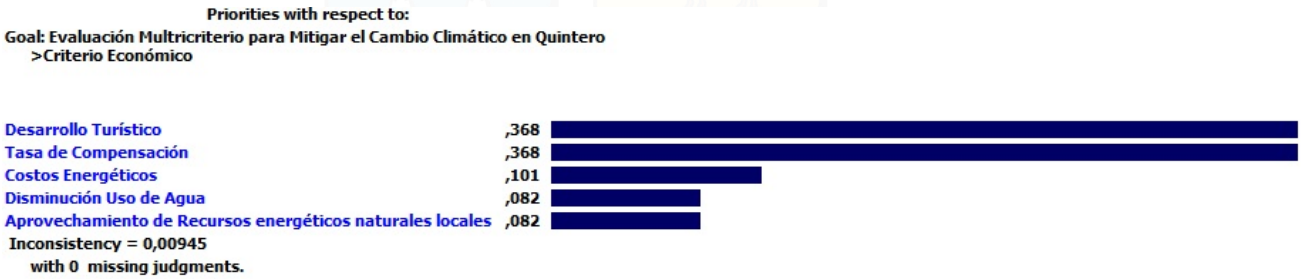


Figura 5.6: Prioridades para los beneficios económicos
Fuente: Obtenido con Expert Choice..

En la Figura 5.6 se aprecia que en los criterios económicos se observa que el desarrollo del turismo (36,8 %) y la tasa de compensación (36,8 %) son los beneficios que cobran más importancia en este criterio, estos beneficios claramente afectan directamente a la comunidad de Quintero, pues el desarrollo del turismo ha de afectar de manera inmediata a las personas, de igual manera el beneficio de la tasa de compensación. En tanto que los otros beneficios, si bien es cierto ayudan a la Comunidad en gran medida, lo hace en una mirada más a largo plazo, lo cual hace que no sea visto como un beneficio de gran interés debido a los grandes y graves problemas que afecta hoy en día a Quintero.

Finalmente, en la Tabla 5.10 se tienen las ponderaciones locales y globales de cada uno de los beneficios:

Tabla 5.10: Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación

		Ponderación Local	**Ponderación Global**
Criterios Sociales (C1)		**0,467**	**0,467**
C1.1	Enfermedades y Muertes	0,083	0,039
C1.2	Educación	0,049	0,023
C1.3	Investigación e Innovación	0,049	0,023
C1.4	Concientización Ambiental	0,146	0,068
C1.5	Autoestima de la Comunidad	0,308	0,144
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	0,308	0,144
C1.7	Creación de Empleos	0,056	0,026
Criterios Ambientales (C2)		**0,467**	**0,467**
C2.1	Emisión de Partículas	0,297	0,139
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	0,297	0,139
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	0,297	0,139
C2.4	Cambio Climático	0,071	0,033
C2.5	Requerimiento de Tierras	0,037	0,017
Criterios Económicos (C3)		**0,067**	**0,067**
C3.1	Desarrollo Turístico	0,368	0,025
C3.2	Tasa de Compensación	0,368	0,025
C3.3	Costos Energéticos	0,101	0,007
C3.4	Disminución de Uso de Agua	0,082	0,005
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	0,082	0,005

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 5.11 presenta los resultados de la consolidación de los juicios emitidos por la totalidad del grupo de expertos encuestados. Para cada criterio, se observa su peso local; esto es, con relación al indicador en el nivel inmediatamente anterior y su peso global dentro de la jerarquía completa de criterios. El cuadro que sigue resume los resultados obtenidos cuando las opiniones obtenidas se consolidan como se indica en los respectivos encabezamientos.

Tabla 5.11: Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación

		G1	G2	G3	G1+G2+G3
Criterios Sociales (C1)		**0,509**	**0,648**	**0,352**	**0,503**
C1.1	Enfermedades y Muertes	0,094	0,096	0,087	0,092
C1.2	Educación	0,021	0,045	0,134	0,067
C1.3	Investigación e Innovación	0,043	0,031	0,030	0,034
C1.4	Concientización Ambiental	0,021	0,093	0,055	0,056
C1.5	Autoestima de la Comunidad	0,024	0,132	0,015	0,057
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	0,200	0,128	0,013	0,114
C1.7	Creación de Empleos	0,107	0,125	0,018	0,083
Criterios Ambientales (C2)		**0,406**	**0,235**	**0,371**	**0,337**
C2.1	Emisión de Partículas	0,112	0,101	0,086	0,099
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	0,112	0,052	0,118	0,094
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	0,077	0,031	0,104	0,071
C2.4	Cambio Climático	0,027	0,013	0,032	0,024
C2.5	Requerimiento de Tierras	0,077	0,040	0,031	0,049
Criterios Económicos (C3)		**0,086**	**0,118**	**0,276**	**0,160**
C3.1	Desarrollo Turístico	0,005	0,031	0,108	0,048
C3.2	Tasa de Compensación	0,004	0,056	0,034	0,031
C3.3	Costos Energéticos	0,026	0,009	0,064	0,033
C3.4	Disminución de Uso de Agua	0,027	0,011	0,029	0,022
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	0,023	0,011	0,043	0,026

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 5.11 se aprecia el promedio de las importancias relativas de los criterios seleccionados, a partir de la opinión de los 3 grupos que participan en esta evaluación.

Es importante destacar que dentro de este procedimiento se encontró con una gran diversidad de opiniones con respecto a la importancia de los criterios presentes, por lo que realizar la evaluación con solo una opinión puede llevar a cometer errores, pues el llenado de la matriz de juicio puede llegar a ser muy subjetivo y no representar correctamente los intereses de todos los participantes. Es por esta razón que se somete a promediar los resultados obtenidos por los grupos, obteniendo dicha ponderación final.

5.3.5. Comparación de alternativas

A continuación se presentan los resultados obtenidos al encuestar a un total de 150 personas de la Comunidad de Quintero, con respecto a las dos alternativas presentadas en la sección anterior para suplicar a una Central Termoeléctrica, como los es la Central de Gas Natural y el Parque Eólico Offshore. En esta encuesta se obtuvo la opinión de las personas con respecto a los criterios a evaluar para determinar las calificaciones de ambas alternativas, para ello se realiza la encuesta presentada en el Anexo A.4.

En esta encuesta solamente se consideraron los beneficios cualitativos, pues para los cuantitativos se utilizará la literatura ya existente. La opinión de la Comunidad de Quintero nos hará conocer las notas que tendrán cada uno de los beneficios cualitativos, con lo cual obtendremos las notas finales de las alternativas presentadas.

Evaluación de Central de Gas Natural

a. **Criterio Beneficios Sociales**:

1. **Subcriterio: Enfermedades y Muertes**:
   Promedio = 3,08. Este promedio señala que se mantendrán las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire, esto se debe a que la gente de la zona se siente muy desconforme con estas empresas y cree no podrá haber un cambio de por parte de ellos que les permita mejorar en algo esta situación. La gente de la zona no cree en nuevos proyectos que puedan arreglar en algo la situación actual de la zona, sin embargo saben que existe diferencia entre el carbón y el gas en temas de contaminación.
2. **Subcriterio: Educación**:
   Promedio = 2,81. Aproximando este promedio a 3 muestra que existiría mediana contribución a la educación. Mientras existan las empresas en esta zona, junto con sus grandes instalaciones se cree que no se podrá contribuir mucho en la educación. La gente seguirá pensando igual y más si no se informa de los

proyectos como la gente quiere (muchas gente hace alusión a la comodidad de la gente de la zona, ellos no buscaran información, espera que todos les llegue. Lo mismo ocurre con el tema de contaminación, la gente seguirá pensando que todo sigue igual a menos que alguien se siente con ellos a explicarle sobre estos cambios).

3. **Subcriterio: Investigación e Innovación**:

   Promedio: 2,62. Este promedio se encuentra entre bajo y mediano incentivo a la investigación e innovación, el principal porque, es que la gente de la zona se clasifica como floja. Ellos mismos señalan que el conformismo de la gente llega a tal nivel que ya no se interesa mucho por conseguir cambios, como también hay gente que dicen que estos no son necesarios porque en la zona no se vive mal. Tratan de contrarrestar el daño ambiental con los beneficios económicos que se le ofrecen, por lo que no es mayor el interés que se tiene por investigar e innovar en medidas de descontaminación, por ejemplo.

4. **Subcriterio: Concientización Ambiental** :

   Promedio: 2,84. Este promedio se aproxima a 3, lo que quiere decir que se crea conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona. El que se quiera cambiar el carbón por gas natural deja explicito que existe algo de conciencia por la situación que está viviendo la zona de Quintero y Ventanas, ya que ellos saben y viven a diario el daño que les provocan los residuos del carbón, saben que esto cambiaría con gas natural, pero tampoco le atribuyen una alta conciencia, porque saben que existen más formas de descontaminación o que existen otras formas en las cuales pudiesen intervenir para ayudar en algo a la zona y no se hacen.

5. **Subcriterio: Autoestima de la Comunidad** :

   Promedio: 2,95. Aproximado a 3 dice que se mantiene la imagen de la autoestima de la comunidad, esto porque la gente dice que con este nuevo proyecto no solucionaran todos los problemas que ya hay y todos los efectos que han traído estas empresas, que con Gas Natural creen que existirá algún cambio, pero no el suficiente, por lo que no va a variar mucho en la vida de la población,

la gente se sentirá igual.

6. **Subcriterio: Aceptabilidad de la Comunidad** :

   Promedio: 2,83. Se aproxima a una mediana aceptación, esto ya que hay mucha gente desconforme que no aceptará nuevos proyectos, que no cree en nada y que solo quiere que ya no entren más empresas a la zona, por lo que está cerrada a nuevas opciones. Como también hay gente que si cree que se puede mejorar lo que es hoy Ventanas y que cualquier cosa que les pueda reducir en algo la contaminación lo aceptaran.

7. **Subcriterio: Creación de Empleos** :

   Promedio: 2,00. Al observar la Figura 5.7, se puede observar que la creación de nuevos puestos de trabajo es muy parecida entre una central térmica y una de GNL. Sin embargo, como la central de GN solo tendría una capacidad instalada de 760 MW (3.740 nuevos empleos), provoca una disminución en comparación a los empleos que se mantendrían en caso de mantener la central térmica de 884 MW (4.420 empleos). También se considera un leve aumento en la nota, pues la mano de obra a necesitar para una central de GN no es tan especializada y podría aportar a empleos a gente de la zona.

Type of power plant	Job creation (new employees/500 MW)
Coal/lignite	2500
Oil	2500
Natural gas turbine	2460
Natural gas combined cycle	2460
Nuclear	2500
Hydro	2500
Wind	5635
Photovoltaic	5370
Biomass	36,055
Geothermal	27,050

Figura 5.7: Creación de Empleos por tipo de planta de 500 MW en Estados Unidos
Fuente: Simons y Peterson (2001), Singh y Fehrs (2001), US Department of Energy (USDOE) (1997).

b. **Criterio Beneficios Ambientales**:

1. **Subcriterio: Emisión de Partículas** :

   Promedio: 2,87. Se aproxima a una mediana emisión de partículas (PM_{10}). Saben que será menor que la del carbón, pero que igual existen y son considerables.

2. **Subcriterio: Emisiones de gases de efecto invernadero** :

   Promedio: 2,77. Similar al anterior, se señala que habrá una mediana emisión de gases tipo invernadero, ya que si bien se reduce la emisión que existía, se seguirán emitiendo.

3. **Subcriterio: Resíduos sólidos y líquidos** :

   Promedio: 2,62. Esta entre un alto impacto y mediano, se cree que con el gas natural igual se tendrá una alta afectación al ambiente y a la salud de la población, pudiendo haber algún tipo de cambio en los efectos que se provoquen sobre el medio ambiente y la salud de la comunidad.

4. **Subcriterio: Cambio Climático** :

   Promedio: 2,54. Se encuentra entra baja y mediana intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. No creen que pasar de carbón a gas y reducir su capacidad puedan influir en algo en la mitigación de este cambio, dicen que es tan grande el daño que en un muy largo plazo recién se podría hablar de mitigación del cambio climático.

5. **Subcriterio: Requerimiento de Tierras**:

   Promedio: 2,72. Este promedio se encuentra más cercano a una mediana intensidad de impacto sobre la biodiversidad, la afectación del paisaje y el nivel de ruido en función de la extensión de tierra ocupada. Creen que con estos cambios no se verá una escena muy distinta a la que se ve hoy, no creen que estos elementos sean influyentes.

c. **Criterio Beneficios Económicos**:

1. **Subcriterio: Desarrollo Turístico** :

Promedio: 2,92. Se aproxima a una mantención en el turismo, señalan que por estas empresas el turismo se ha visto disminuido y que con este cambio creen seguirá igual, porque el veraneante no sabrá de estos cambios y la contaminación visual seguirá igual, que es la primera apreciación que se lleva la gente de esta zona.

2. **Subcriterio: Tasa de Compensación** :

   Promedio: 2,00. Según la información de la Figura 5.8 se puede apreciar que la tasa de compensación por KWh generado para el caso de la Central de Gas Natural es bastante inferior a la Central Térmica del caso base, por lo tanto el indicador genera que sea menor también.

Type of power plant	Compensation rates (eurocents/kWh)
Coal/lignite	8.40
Oil	6.75
Natural gas turbine	2.00
Natural gas combined cycle	1.33
Nuclear	0.49
Hydro	0.56
Wind	0.16
Photovoltaic	0.24
Biomass	2.65
Geothermal	0.20

Figura 5.8: Tasa de Compensación para cada Planta en Estados Unidos
Fuente: Ne y Oec (2003).

3. **Subcriterio: Costos Energéticos** :

   Promedio: 2,00. Con respecto a los costos para la utilización de energías primarias para la generación de electricidad, éstos son mayores a los costos del carbón, esto se debe principalmente a que Chile es totalmente dependiente de la importación de gas natural licuado, por lo que cualquier crisis o problemas que exista con su país proveedor hará que los costos se incrementen notoriamente.

4. **Subcriterio: Disminución de Uso de Agua**:

Promedio: 4,00. La utilización de agua disminuiría con la central a gas natural, esto se debe a que la central térmica a carbón es más ineficiente que al utilizar GN, por lo que se podría aprovechar y reutilizar el agua en mejor medida.

5. **Subcriterio: Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales** :

   Promedio: 2,63. Se ve entre un bajo y mediano uso de los recursos energéticos naturales locales, esto porque la gente ve principalmente el gas natural licuado, que es un producto importado, por lo que señala que no usa muchos elementos de la zona.

Evaluación del Parque Eólico Offshore

a. **Criterio Beneficios Sociales**:

1. **Subcriterio: Enfermedades y Muertes**:

   Promedio: 4,20. Habrá una leve disminución de las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire, al hablar de un proyecto que use energías renovables y que además descontamine en algo lo visual de la zona, es un proyecto que ilusiona y anima a la comunidad, por lo que si creen que pudiese ayudar en algo a la sociedad, mas con la descontaminación de esta zona.

2. **Subcriterio: Educación**:

   Promedio: 3,83. Se aproxima a una alta contribución a la educación, la población señala que todo sería tan distinto con un proyecto como el eólico, que cambiaría mucho a la comunidad, creen que podrían volver a obtener parte de la cuidad de Ventanas que era antes y que con esto la gente valoraría al ambiente y existiría mayor preocupación por su cuidado.

3. **Subcriterio: Investigación e Innovación**:

   Promedio: 3,80. Se aproxima a 4 que es un alto incentivo a la investigación e innovación. Creen que si este proyecto se efectuase como se plantea habría un gran cambio en la gente de la zona, si podría existir más animo de investigación e innovación, en parte por ver que si se está haciendo algo verdadero por la descontaminación de la zona afectada.

4. **Subcriterio: Concientización Ambiental** :

   Promedio: 4,19.. Se crea alta conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona, dicen que claramente habrá un cambio de conciencia, si ya se está haciendo algo real por la descontaminación, aunque cueste creer que puede ocurrir algo así (porque mucha gente me señalaba que este proyecto era genial, pero sabían que jamás se llevaría a cabo), se sabe que al realizarse traería un gran cambio de conciencia en el cuidado del medio ambiente de parte de todos los actores involucrados.

5. **Subcriterio: Autoestima de la Comunidad** :

   Promedio: 4,46. Existe una leve mejora en la imagen de la autoestima de la comunidad, mencionan que indudablemente la gente sentirá al fin que alguien se está preocupando por ellos y por su bien estar, por lo que si mejoraría el autoestima de la comunidad.

6. **Subcriterio: Aceptabilidad de la Comunidad** :

   Promedio: 4,26. Tiene una alta acepción, ya que es un proyecto que como se está planteando hoy, no tendría como jugarle una mala pasada a la comunidad, por qué no se le asigna una muy alta aceptación se basa principalmente en que la gente expresa que aun que existe contaminación en la zona, el desarrollo de esta y de su gente se debe a las empresas, quienes le han dado empleo a sus familias y han hecho que muchas familias surjan, ya que hablan que los sueldos no son malos para gente que no ha tenido mayor educación. Por lo que su gran temor y el gran pero a la hora de aceptar este tipo de proyectos es que existiría una gran tasa de desempleo al señalar que este proyecto buscaría a gente más especializada que ellos.

7. **Subcriterio: Creación de Empleos** :

   Promedio: 4,00. Al igual observar la Figura 5.7 podemos apreciar que la creación de empleos para la energía eólica es ampliamente superior a la central térmica, sin embargo, la capacidad instalada no es la misma (Parque Eólico 350 MW vs 884 Central Termoeléctrica). Con los 350 MW de energía eólica se generan 3.945 nuevos empleos, mientras que dejar de producir esos 350

MW de la planta a carbón tendría una disminución de 1.750 empleos, por lo que se obtiene una diferencia de 2.195 empleos netos que se generarán al realizar este cambio.

b. **Criterio Beneficios Ambientales**:

1. **Subcriterio: Emisión de Partículas** :

   Promedio: 4,46. Puede llegar a acercarse a una mínima emisión de partículas. La gente sabe que las energías renovables son energías limpias, que minimizaran la contaminación por lo tanto la emisión de partículas.

2. **Subcriterio: Emisiones de gases de efecto invernadero** :

   Promedio: 4,45. Muy parecido al anterior, se dice que se minimizara en algo la emisión de gases de tipo invernadero, por el mismo motivo, las energías renovables son consideradas por la población como energías sanas y limpias, que no emiten contaminación salvo en su instalación con respecto al ruido y los residuos que se eliminen.

3. **Subcriterio: Resíduos sólidos y líquidos** :

   Promedio: 3,93. Se aproxima a un bajo impacto. Por lo que se puede apreciar a la hora de la realización de las encuestas se tomó como bajo impacto en que no iban a afectar de forma negativa al ambiente ni a la salud, que iban a ser mínimos los impactos negativos que se pudiesen producir, no se verá una mayor afectación a al ambiente ni a la salud.

4. **Subcriterio: Cambio Climático** :

   Promedio: 3,50. Se aprecia una mediana intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático. El clima se ha visto alterado por la gran contaminación y la gente cree que con este proyecto no se podría lograr minimizar este cambio, ya que señalan que este cambio en el clima ya está hecho, que no se podrá hacer mucho para minimizar en algo el cambio.

5. **Subcriterio: Requerimiento de Tierras**:

   Promedio: 3,87. Este promedio se encuentra más cercano a una baja intensidad de impacto sobre la biodiversidad, la afectación del paisaje y el nivel de

ruido en función de la extensión de tierra ocupada, ya que se indica que este proyecto no tendría mucha afectación a estos elementos.

c. **Criterio Beneficios Económicos**:

1. **Subcriterio: Desarrollo Turístico** :

   Promedio: 4,26. Se observa que se puede maximizar en algo el turismo de la zona. La comunidad señala que la contaminación visual es el principal elemento que hace disminuir el turismo, por lo que si se pudiese alivianar en algo esta contaminación, el turismo claramente podría aumentar.

2. **Subcriterio: Tasa de Compensación** :

   Promedio: 1,00. Según la Figura 5.8 se aprecia que la tasa de compensación de la energía eólica es mucho más baja que la energía en base a carbón, e incluso en base a gas natural, por lo que el índice de la tasa de compensación sería mínimo.

3. **Subcriterio: Costos Energéticos** :

   Promedio: 4,00. Al estar generación electricidad mediante una energía renovable no convencional genera que los costos de la generación disminuyan casi en su totalidad, pues los recursos son gratuitos. Sin embargo, hay que considerar que el estos recursos no se encuentran disponibles todo el tiempo por lo que habrán muchos horas equivalentes en desuso. Además se debe considerar que la mantención de la ERNC son inferiores a las energías convencionales.

4. **Subcriterio: Disminución de Uso de Agua**:

   Promedio: 5,00. Con la generación de la energía mediante el viento, prácticamente no usa agua para la generación de la electricidad, por lo que este índice tendría una considerable ventaja, al ser una ERNC la generadora.

5. **Subcriterio: Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales** :

   Promedio: 3,97. Aproximadamente un alto uso de los recursos energéticos naturales locales. Al hacer mención de un proyecto que utiliza energías renovables hace que la gente lo asocie con un uso alto de recursos naturales de la zona.

A continuación se presenta la Tabla 5.12 que muestra un resumen de la información obtenida en este apartado:

Tabla 5.12: Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación

		Alternativa Central GN	**Alternativa Parque Eólico Offshore**
Criterios Sociales (C1)			
C1.1	Enfermedades y Muertes	3,08	4,20
C1.2	Educación	2,81	3,83
C1.3	Investigación e Innovación	2,62	3,80
C1.4	Concientización Ambiental	2,84	4,19
C1.5	Autoestima de la Comunidad	2,95	4,46
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	2,83	4,26
C1.7	Creación de Empleos	2,00	4,00
Criterios Ambientales (C2)			
C2.1	Emisión de Partículas	2,87	4,46
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	2,77	4,45
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	2,62	3,93
C2.4	Cambio Climático	2,54	3,50
C2.5	Requerimiento de Tierras	2,72	3,87
Criterios Económicos (C3)			
C3.1	Desarrollo Turístico	2,92	4,26
C3.2	Tasa de Compensación	2,00	1,00
C3.3	Costos Energéticos	2,00	4,00
C3.4	Disminución de Uso de Agua	4,00	5,00
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	2,63	3,97

Fuente: Elaboración Propia.

5.3.6. Notas de cada alternativa

Con las ponderaciones asignadas y los promedios en cada subcriterio, se saca la nota final para cada alternativa:

1. Central de GN:

Tabla 5.13: Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación

		Alternativa Central Gas Natural	**Ponderación Asignada**	**Nota Final**
Criterios Sociales (C1)				**1,376**
C1.1	Enfermedades y Muertes	3,08	0,092	**0,283**
C1.2	Educación	2,81	0,067	**0,188**
C1.3	Investigación e Innovación	2,62	0,034	**0,089**
C1.4	Concientización Ambiental	2,84	0,056	**0,159**
C1.5	Autoestima de la Comunidad	2,95	0,057	**0,168**
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	2,83	0,114	**0,323**
C1.7	Creación de Empleos	2,00	0,083	**0,166**
Criterios Ambientales (C2)				**0,924**
C2.1	Emisión de Partículas	2,87	0,099	**0,284**
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	2,77	0,094	**0,260**
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	2,62	0,071	**0,186**
C2.4	Cambio Climático	2,54	0,024	**0,061**
C2.5	Requerimiento de Tierras	2,72	0,049	**0,133**
Criterios Económicos (C3)				**0,424**
C3.1	Desarrollo Turístico	2,92	0,048	**0,140**
C3.2	Tasa de Compensación	2,00	0,031	**0,062**
C3.3	Costos Energéticos	2,00	0,033	**0,066**
C3.4	Disminución de Uso de Agua	4,00	0,022	**0,088**
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	2,63	0,026	**0,068**
Nota Final				2,73

Fuente: Elaboración Propia.

2. Parque Eólico Offshore:

Tabla 5.14: Resumen de ponderaciones de criterios de evaluación

		Alternativa Parque Eólico Offshore	**Ponderación Asignada**	**Nota Final**
Criterios Sociales (C1)				**2,079**
C1.1	Enfermedades y Muertes	4,20	0,092	**0,386**
C1.2	Educación	3,83	0,067	**0,257**
C1.3	Investigación e Innovación	3,80	0,034	**0,129**
C1.4	Concientización Ambiental	4,19	0,056	**0,235**
C1.5	Autoestima de la Comunidad	4,46	0,057	**0,254**
C1.6	Aceptabilidad de la Comunidad	4,26	0,114	**0,486**
C1.7	Creación de Empleos	4,00	0,083	**0,332**
Criterios Ambientales (C2)				**1,413**
C2.1	Emisión de Partículas	4,46	0,099	**0,442**
C2.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	4,45	0,094	**0,418**
C2.3	Resíduos sólidos y líquidos	3,93	0,071	**0,279**
C2.4	Cambio Climático	3,50	0,024	**0,084**
C2.5	Requerimiento de Tierras	3,87	0,049	**0,190**
Criterios Económicos (C3)				**0,581**
C3.1	Desarrollo Turístico	4,26	0,048	**0,205**
C3.2	Tasa de Compensación	1,00	0,031	**0,031**
C3.3	Costos Energéticos	4,00	0,033	**0,132**
C3.4	Disminución de Uso de Agua	5,00	0,022	**0,110**
C3.5	Aprovechamiento de recursos energéticos naturales locales	3,97	0,026	**0,103**
Nota Final				4,07

Fuente: Elaboración Propia.

En las Tablas 5.13 y 5.14 se denotan las calificaciones finales de las alternativas de la central de GN y el Parque Eólico Offshore, respectivamente, con la metodología de la Evaluación Multicriterio. En donde se destaca la buena nota que obtuvo la alternativa de la ERNC propuesta en este trabajo.

6 | Conclusiones

La mitigación del impacto ambiental de una zona saturada de contaminación es una misión que debe comprometer a todos, ya sea el Gobierno fomentando ideas innovadoras que busquen reducir y mitigar la contaminación ambiental, como las empresas industriales presentes en el parque industrial que creen conciencia sobre que las medidas que se tomen para bajar la contaminación, tengan un verdadero impacto sobre la contaminación global de la zona, pues es así la única manera de generar un real cambio. Es de suma importancia que la Comunidad cree instancia de comunicación y orientación sobre las actuales situaciones en las que se encuentra la ciudad, y de a conocer las desventajas de vivir en un ambiente así, para así crear una mayor concientización ambiental en la Comunidad, y se genera un compromiso por parte de ellos para buscar cambios. El trabajo en conjunto de todos los actores es la única forma de lograr obtener reales cambios, y obtener un objetivo en común acerca de la mitigación del impacto ambiental generado por la contaminación del parque industrial de Ventanas.

La realización de este trabajo permite comprobar el interés por parte de la Comunidad de buscar nuevas alternativas de generación de energía que consideren las ERNC, en desmedro de las energías convencionales. La evaluación del parque eólico offshore no es rentable debido al alto costo de inversión que ésta requiere, sin embargo, es una alternativa que un futuro debe volver a ser considerada debido a que los costos asociados a las energías renovables va disminuyendo rápidamente y por ser un proyecto ampliamente apoyado por la Comunidad.

Es importante asignar una metodología que considere la participación de la Comuni-

dad para medir el impacto que los proyectos tienen sobre una zona determinada, dentro del cual no solamente se mencione lo bueno y lo malo de un proyecto, y que posteriormente sea contrarrestado, sino que encontrar aquella metodología que incorpore todos los aspectos relevantes a considerar y se pueda ir estableciendo una ponderación asignada, a través de su impacto en la comuna. La evaluación multi-criterio jerárquica ha demostrado ser una herramienta eficaz que apoya la toma de decisiones de los proyectos considerando la opinión de expertos, actores involucrados y la Comunidad, dentro del cual se puede ir designando la importancia relativa de cada uno de estos aspectos para tener una mejor comprensión de la evaluación, que es apoyado por un complejo algoritmo matemático que permite identificar la consistencia de las opiniones a considerar.

La ciudad de Quintero es una de las zonas de mayor preocupación a nivel nacional, debido a los altos índices de contaminación que se registran año a año, debido a la cercanía que tiene el parque industrial de Ventanas con la población. Desde sus inicios en 1961, el parque industrial fue bien cuestionado por la comunidad ya que éste se encontraba a escasos kilómetros de la ciudad, sin embargo, la falta de una Planificación Territorial en Chile permitió que el parque fueron construido en donde se ubica hasta el día de hoy.

Los diferentes Gobiernos siempre velaron por la satisfacción de la creciente demanda energética que el país requería, despreocupándose de ciertas zonas que fueron saturándose de industrias. Pero fueron grupos particulares quienes empezaron a mostrar su preocupación y descontentos ante la despreocupación y falta de interés de los gobiernos, ante la contaminación que se generaron en estas zonas, y ante el plan regional de expansión industrial que se aprueba en el año 1987, estos grupos empezaron a dejar de manifiesto las actuales condiciones ambientales que en Quintero habían. Lo anterior trajo consigo que el Gobierno hiciera estudios sobre la calidad ambiental de la zona, y creara un plan de descontaminación, no obstante a lo anterior, al año siguiente Quintero fue declarado como una “Zona Saturada de Contaminación ambiental por MP_{10} y SO_2.

Los esfuerzos realizados por los Gobiernos trajo consigo un cambio de las leyes que

establecieron los máximos niveles de contaminación para las industrias, sin embargo, esto no fue necesario para evitar que la zona siguiera con los altos niveles de contaminación, por lo que hubo un compromiso hacia la comunidad de que no se permitirían nuevos accesos de industrias al parque hasta que se regulara lo anterior.

Sin embargo, este compromiso se vio vulnerado por la aprobadación de la construcción de la Central Termoeléctrica de Campinche. Esto provocó que la comunidad junto con los medios de comunicación hicieran público los desastres ambientales que estaban ocurriendo en la zona, como la intoxicación de adultos y niños en la Escuela de La Greda, se publicaran los registros de varamientos encontrados en las playas de Quintero, y los resientes desastres ambientales producidos por los derrames de petróleo en la Bahía de Quintero en los años 2014 y 2015, que trajo consigo efectos negativos tanto para la naturaleza como para las personas de la zona.

Los altos niveles de contaminación del aire y del agua, en Quintero, tienden causar un daño sistemática no sólo en la salud de los habitantes, que exhiben tasas de mortalidad y morbilidad mucho más alto que otras ciudades de la misma región, sino también en el medio ambiente de ser responsable de la disminución sostenida de la pesca y las actividades turísticas.

Chile es un país conservador en su toma de decisiones, esto ha generado que muchas ideas innovadoras y sustentables han sido rechazadas, o simplemente no consideradas. Hay que cambiar este paradigma, y arriesgarse para poder resolver los conflictos que hoy en día el país vive, pues con las actuales leyes y políticas nos hemos quedado estancados, y no hemos resuelto los problemas de raíz. Debemos tener políticas públicas y energéticas proyectadas al largo plazo, e ir subsanando los principales conflictos que hoy el país vive, y aprovechar todas las oportunidades que se nos presentan.

La incorporación de energías renovables no convencionales es y será siempre una opción de fomento en Chile, y utilizarlas para recuperar ambientalmente una zona tan con-

taminada es un gran desafío. Los recursos naturales que sobresalieron fueron la solar y la eólica, sin embargo la elección no fue sencilla dado que territorialmente la región está copada, por lo que habría que trabajar muy alejado a los potenciales sectores de estos recursos.

La utilización del suelo marino para la instalación de un parque eólico offshore es la opción que se analizó en este trabajo, debido a su gran potencial eólico.

En primer lugar se tuvo que analizar la viabilidad técnica del proyecto, en donde se analizaron los recursos eólicos, la batimetría de la zona, la evaluación de impacto ambiental, y las tecnologías a utilizar. De aquí se detallan algunas consideraciones:

- Los recursos eólicos promedios de la zona cumplen con los mínimos vientos que se necesitan para partir una turbina eólica, sin embargo están por debajo de alcanzar la máxima potencia de estos.

- La batimetría de Chile es muy accidentada, esto se refiere a que a muy pocos kilómetros de distancia de la costa, se alcanzan profundidades muy grandes, lo cual dificulta la instalación de parque eólico, con las tecnología actuales.

- Dentro de la evaluación de impacto ambiental de un parque eólico offshore se tienen efectos positivos, dentro de los que se destacan: la nula contaminación que se produciría por la generación de energía, la creación de nuevos hábitats en la flora y fauna marina, y el impacto social que podría generarse con este proyecto; y efectos negativos dentro de los cuales se destacan los riesgos de colisión de las aves en sus épocas de migración, con las turbinas eólicas.

- Se recomienda utilizar las cimentaciones de última tecnología, que aún están en período de maduración, debido a que las profundidades chilena no son adecuadas para las actuales tecnología.

Del diseño del parque eólico se analizó la posible configuración que tendría el parque, mediante las medidas de seguridad que debe haber como distancia entre un aerogenerador y otro, considerando las pérdidas que también se ocasionan. Se destaca que dadas las

dimensiones que tendría el parque, no se alcanzará a abastecer la totalidad de una planta termoeléctrica existente en el parque industrial de Ventanas, sin embargo, se analizará la evaluación del reemplazo de una fracción parcial de ésta.

Por lo tanto, se comprueba que la viabilidad técnica del parque eólico en Quintero es una opción real.

Los resultados obtenidos de la evaluación económica, como era de esperarse, arrojan que este proyecto no es rentable, debido al alto costo de inversión que se requiere. El alto valor de la inversión se debe principalmente a que se debe trabajar con una tecnología que aún no se encuentra en período de madurez por lo que su valor se dispara, sin embargo, se espera que en con el correr de los años estos valores tiendan a descender y generen en este proyecto un costo de inversión moderado. Es importante mencionar que el principal ingreso de este proyecto no yace en la venta de energía, pues como el objetivo el reemplazo a partir de una central que utilice combustibles fósiles para su generación, sino en los recursos que se dejan de gastas por concepto de este tipo de central, ya sea en el costo del combustible o los altos costos de mantención y operación que estos tienen.

Dado que este proyecto tiene la finalidad de mitigar el impacto ambiental que tienen las centrales termoeléctricas en la región, es considerado un proyecto de índole social, por lo cual se le serán considerado aspectos que son fomentados por el Ministerio de Desarrollo Social y el Ministerio del Medio Ambiente, lo cual dentro de otros factores considera los precios sociales y subsidios de parte del Estado para fomentar este tipo de proyectos.

Este proyecto social también considera beneficios para la comunidad, los cuales pueden ser cuantificables o no, dentro de la cuantificación de algunos de los beneficios que conllevaría la realización del proyecto, están: la cuantificación del beneficio que traería en las tasas de mortalidad y morbilidad de las personas al disminuir en una proporción la contaminación ambiental; y el potencial de la generación de nuevos empleos producto del cambio de los recursos para la generación de la energía.

Los resultados obtenidos en esta evaluación consideran que el proyecto es viable socialmente, pues en base a los beneficios cuantificables se espera que tengan un efecto directo en la recuperación ambiental de la zona.

Como la evaluación económica arroja en VAN Negativo y la evaluación social un VAN Positivo, la literatura sugiere en estos casos la diferencia que exista entre estos dos valores sea proporcionado como un subsidio por parte del Estado, sin embargo, esta diferencia es muy alta, por lo que se hace complicado que el Gobierno acceda a entregar este tipo de subsidios de manera sencilla.

No obstante, no todos los beneficios de los proyectos sociales son cuantificables, muchos de ellos no son, o son muy difíciles de medir, y que para efectos prácticos no son considerados en la evaluación de los proyectos. Es por esta razón que se trabaja con una metodología que sea capaz de medir todos los beneficios y considerar la participación de la comunidad afectada para poder conocer con mejor detalle su percepción con respecto a los problemas, y a su aceptación con respecto a las alternativas a elegir. La metodología a utilizar para complementar este trabajo es la evaluación multicriterio.

El análisis multicriterio ha demostrado ser una herramienta muy eficaz para incorporar aspectos cualitativos en una evaluación del proyecto. Sin embargo, el presente trabajo introduce un parámetro adicional: “La participación de la comunidad” en la forma de una encuesta y entrevistas que cuentan para su percepción respecto a los efectos y las consecuencias de los proyectos de alto impacto social, eso significa que aquellos que pueden afectar gravemente a la calidad de la vida de las personas, ya sea por un impacto directo en su salud o en el ecosistema en el que están inmersos.

Como se muestra en la sección de resultados, la alternativa de gobierno para cumplir con el objetivo general del proyecto "Mitigar el impacto ambiental generado por la proximidad al parque industrial de Ventanas"que consiste en la sustitución de parte del

carbón térmico de generación de plantas de energía por una planta de energía térmica de Gas Natural obtiene una puntuación peor que la propuesta del autor de que reemplazar parcialmente la generación de energía de las centrales térmicas de la energía generada por un un parque eólico marino. Este resultado muestra que para los habitantes de Quintero, la alternativa de gobierno no hace ninguna diferencia significativa respecto a su situación real. Aunque el proyecto hace mitigar el impacto ambiental mediante la reducción de los contaminantes del aire, que no perciben los beneficios y por lo tanto consideran esta opción como "más de lo mismo". Por el contrario, el parque eólico offshore, por tanto, se percibe como una alternativa innovadora y respetuosa del medio ambiente que genera en los habitantes de las expectativas de aumento del turismo y por lo tanto de ingresos económicos y de igual importancia y el aumento de la creación de empleo. Esos dos aspectos influyen significativamente en opinión de la comunidad y son exactamente aquellos en los que la puntuación alternativa del gobierno peor. Además, aunque con un bajo peso, la autoestima obtuvo la puntuación más alta dentro de los criterios de carácter social y el segundo en la lista general para la granja eólica offshore señalando la percepción favorable de la comunidad de este tipo de tecnología.

Una evaluación privada o social pura, basada en un análisis cuantitativo no tendrá en cuenta una serie de aspectos, relevante para el proyecto, que no se pueden cuantificar fácilmente. Aunque el análisis multicriterio incluyen aquellos aspectos, se podría subestimar peculiaridades de un proyecto particular que surge de la percepción de la comunidad directamente afectada por el proyecto. Este efecto puede ser relevante en el caso de proyectos de alto impacto social, tales como los relacionados con la generación de energía. Incluir la participación activa de la comunidad, a través de encuestas especialmente diseñadas, proporcionan los conocimientos particulares de las personas que ayudan a los tomadores de decisiones para evaluar adecuadamente los impactos de los diferentes proyectos y ayudar a los gobiernos en el diseño de las políticas públicas tienen como objetivo mejorar el bienestar social.

La larga historia de los desastres ambientales de Quintero añadido a su impacto severo

sobre la salud de las personas que ha obligado a los gobiernos a lo largo de diferentes las últimas décadas para implementar diferentes planes para reducir el impacto medioambiental produce por la actividad del parque industrial de Ventanas. Sin embargo, muchos de esos intentos han fracasado debido a intereses políticos o para un diseño estrictamente técnicas de los planes basados solo en la toma expertos, sin tener en cuenta la opinión de la comunidad en las inmediaciones del parque industrial que se ve afectada directamente por el proyecto. Como resultado, la comunidad de Quintero ha levantaron contra la existencia del parque industrial rechazar cualquier proyecto que implique el aumento de actividad de la industria. En este trabajo se propone la participación activa de la comunidad como una herramienta eficaz no sólo para asegurar el diseño eficaz de las políticas públicas, sino también para cumplir con la regla de la reciprocidad y el reconocimiento genérico necesario para la construcción cultural de una ciudadanía democrática real.

La realización de este trabajo es solo una primera aproximación para poder generar un cambio en la forma que el Gobierno de Chile lleva a cabo los proyectos energéticos y proyectos de recuperación ambiental. Su objetivo fue mostrar que existen otras herramientas para poder generar soluciones reales a los problemas que están afectando a algunas zonas de Chile, que a lo largo de su historia han sido olvidadas y perjudicadas por el bienestar de los inversionistas.

Bibliografía

Allende, Carlos Mª Oriol y Carlos, Mª (2014). Viabilidad técnico económica de un parque eólico marino.

Alvear Vega, Sandra; Canteros Gatica, Jorge; Jara Martínez, Juan; Rodríguez Cuellar, Patricia; Mujica Escudero, Verónica; y Vorphal Albrecht, Urzula (2012). Determinación y análisis de costos reales de tratamientos intensivos por paciente y día cama. *Rev. chil. med. intensiv*, 27(1), 7–14.

Andersen, Peter (2006). *Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues*. DONG Energy, Vattenfall, the Danish Energy Authority and the Danish Forest and Nature Agency.

Arancibia, Sara; Contreras, Eduardo; Mella, Sergio; Torres, Pablo; y Villablanca, Ignacio (2003). Evaluación multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. *Universidad de Chile*.

Association, European Wind Energy et al. (2014). The european offshore wind industry–key trends and statistics 2013.

Cañete, Juan I; Leighton, Gerardo L; y Soto, Eulogio H (2000). Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía quintero, chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 35(2), 185–194.

Cavallaro, Fausto y Ciraolo, Luigi (2005). A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an italian island. *Energy Policy*, 33(2), 235–244.

Centro de Ecología Aplicada (2013). Análisis de Riesgo Ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Centro Nacional del Medio Ambiente (2014). Evaluación de la Calidad del Aire en la Región de Antofagasta.

Chatzimouratidis, Athanasios I y Pilavachi, Petros A (2007). Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic hierarchy process. *Energy policy*, 35(8), 4027–4038.

Chatzimouratidis, Athanasios I y Pilavachi, Petros A (2008). Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process. *Energy Policy*, 36(3), 1074–1089.

Chiang, JAIME (1998). Contaminación del mar y el futuro de la pesca en chile. *Rev Amb Desar*, 4, 67–72.

Cifuentes, Luis A; Krupnick, Alan J; O'Ryan, Raúl; y Toman, Michael (2005). *Urban air quality and human health in Latin America and the Caribbean*. Technical report, Inter-American Development Bank.

Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2013). Zona de sacrificio.

Comisión de Observadores de Derechos Humanos de la Casa Memoria José Domingo Cañas (2014). Zona de Sacrificio – Puerto Ventana – Puchuncaví – Región de Valparaiso | Observadores de DDHH.

Comisión de Recursos Naturales Bienes Nacionales y Medio Ambiente (2011). Informe de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente recaído en el mandato otorgado por la sala a fin de analizar, indagar, investigar y determinar la participación de la empresa estatal Codelco y Empresas Asociadas, en la Cont.

Comisión Europea (2000). Perspectivas de la evolución mundial hasta 2030 en los ámbitos de la energía, la tecnología y la política climática. (pp. 1–5).

Conde-Álvarez, Cecilia y Saldaña-Zorrilla, Sergio (2007). Cambio climático en américa latina y el caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23–30.

Correa Pérez, Josefina (2012). Ventanas industrial complex: Exclusion of citizenship and governance problems: The case of 'campiche' between the legality and legitimacy. *Revista Justicia Ambiental*, (4), 121–136.

De Pietri, Diana; Dietrich, Patricia; Mayo, Patricia; y Carcagno, Alejandro (2011). Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en argentina. *Rev. Panam. Salud Publica*, 30(4), 377–387.

Del Campo, S (2012). Estrategia nacional de energía 2012–2030. *Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Spanish. URL http://www. minenergia. cl/estrategianacional-de-energia-2012. html*.

Droguett, Pablo (2013). Parques Eólicos Offshore: ¿Una Alternativa Viable de Generación de Energía para Chile?

Elsam Engineering (2005). Review report 2004 The Danish Offshore Wind Farm Demonstration Project : Horns Rev and Nysted Offshore Wind Farms.

Fiallega, MARIA DEL CARMEN; y Gomez, CARMEN ESTELA (2002). PRIMER DIAGNOSTICO NACIONAL DE SALUD AMBIENTAL Y OCUPACIONAL.

Godoy, R; Tapia, F; y Carrera, T (2013). Bahía de Quinteros, Zona de Sacrificio Ambiental: Obligaciones Internacionales del Estado en materia de Derechos Humanos y Medio Ambiente. Análisis de la normativa ambiental de Derecho Interno.

González, I; Neaman, A; Rubio, P; y Cortés, A (2014). Spatial distribution of copper and ph in soils affected by intensive industrial activities in puchuncaví and quintero, central chile. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(4), 943–953.

Green, J y Sanchez, S (2013). Air quality in latin america: An overview. *Clean Air Institute*.

Grupo Asesor de la Gestión de Programas y Proyectos de Inversión Pública de Colombia (2006). *Manual de Valorización y Cuantificación de Beneficios*. Technical report.

Gutierrez, Fernando Gray (2011). BOLETÍN ESTADÍSTICO PROVINCIAL.

GWEC (2014). Global Wind Report Annual Market Update.

H'Mida, Souad (2009). Factors contributing in the formation of consumers' environmental consciousness and shaping green purchasing decisions. In *Computers & Industrial Engineering, 2009. CIE 2009. International Conference on* (pp. 957–962).: IEEE.

Inskeep, Edward (1988). Tourism planning: an emerging specialization. *Journal of the American Planning Association*, 54(3), 360–372.

Internacional Renewable Energy Agency (2012). RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES.

Kattan, María Alejandra (2015). Propuesta para la Implementación de Parques Industriales en Chile en base al análisis de políticas de Ordenamiento Territorial y Regulación Industrial.

Lindell, Hans (2003). *Utgrunden off-shore wind farm-Measurements of underwater noise*. Technical report, Ingemansson Technology AB.

Macknick, J; Newmark, R; Heath, G; y Hallett, KC (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045802.

Magrın, G; Gay Garcıa, C; Cruz Choque, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; y Villamizar, A (2007). Latin america. climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge*, (pp. 581–615).

Malebran, Christian (2013). Energías Renovables.

Mardones, Cristian; Saavedra, Andrés; y Jiménez, Jorge (2015). Cuantificación económica de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación por mp10 en concepción metropolitano, chile. *Revista médica de Chile*, 143(4), 475–483.

Menegaki, Angeliki (2008). Valuation for renewable energy: a comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2422–2437.

Ministerio de Ambiente (2012). *Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2,5*. Technical report.

Ministerio de Ambiente (2014). *Consejo de Ministros para la Sustentabilidad*. Technical report.

Ministerio de Desarrollo Social (2013). *Evaluación Social de Proyectos*. Technical report.

Ministerio de Energía (2015). *Energía 2050: Política Energética de Chile*.

Ministerio de Salud (2014). *INDICADORES BÁSICOS DE SALUD*. Technical report.

Moreno, Jorge; Mocarquer, Sebastian; y Rudnick, Hugh (2006). Generación eólica en chile: Análisis del entorno y perspectivas de desarrollo. *Andescon, Ecuador, Noviembre*.

Moreno, José Manuel; Rosa, Diego de la; y Zazo, Caridad (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. España. Ministerio de Medio Ambiente.

Ne, A y Oec, D (2003). Nuclear electricity generation: What are the external costs?

Olivera Fujiwara, Elena (2010). Energía y medio ambiente. *Revista Mexicana de Opinión Pública*, (9).

Olmedo, Juan Carlos y Clerc, Jacques (2013). Efectos del proyecto de ley de energías renovables no convencionales. *Libertad y Desarrollo*.

Pacheco, Juan Francisco y Contreras, Eduardo (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos.

Parodi, Violeta (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos en el sector energético.* PhD thesis.

Pilavachi, Petros A; Stephanidis, Stilianos D; Pappas, Vasilios A; y Afgan, Naim H (2009). Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies. *Applied Thermal Engineering*, 29(11), 2228–2234.

Rodríguez, Lidia; Pereira, Iván; y Toval, Noelia (2011). Impactos ambientales de un parque eólico marino. retos y oportunidades. el caso de huelva.

Román, Oscar; Prieto, María José; Mancilla, Pedro; Astudillo, Pedro; Acuña, Claudio; y Delgado, Iris (2009). Aumento del riesgo de consultas cardiovasculares por contaminación atmosférica por partículas: Estudio en la ciudad de santiago. *Revista chilena de cardiología*, 28(2), 159–164.

Saaty, Thomas L (1980). *Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) (AHP).*

Saaty, Thomas L (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9–26.

Sánchez, Pablo; Martínez, Víctor; y Sánchez, Alejandro; (2014). Análisis técnico-económico de un parque eólico offshore en Japón.

Sanhueza, H; Vargas, R; Jiménez, P; et al. (1999). Mortalidad diaria en santiago y su relación con la contaminación del aire. *Rev. méd. Chile*, 127(2), 235–42.

Seremi Salud V Región (2010). Informe Seremi de Salud.

Simons, G y Peterson, T (2001). California renewable technology market and benefits assessment. *Palo Alto, CA and Sacramento, CA: Electric Power Research Institute (EPRI) and California Energy Commission (CEC).*

Singh, Virinder y Fehrs, Jeffrey E (2001). *The work that goes into renewable energy*. Renewable Energy Policy Project.

Soerensen, Hans Christian; Hansen, Lars Kjeld; Hansen, Rune; Thorpe, Tom; y Cullen, Pat Mc (2003). European Thematic Network on Wave Energy Final Report , January 2003 Environmental Impact Prepared by.

Soto, Eulogio y Leighton, Gerardo (1999). Indicadores biológicos de ecosistemas marinos de fondos blandos y su importancia en los programas de monitoreo ambiental. *VI Jornadas del CONAPHI-CHILE, Viña del Mar, Chile*.

The European Wind Energy Association (2015). The European offshore wind industry - key trends and statistics 2014.

Urzúa Manchego, Ignacio Alejandro et al. (2014). Medición del impacto de la penetración de energías renovables no convencionales intermitentes en los costos del sistema interconectado central.

US Department of Energy (USDOE) (1997). *Clean power for 21st century dollars from sense: the economic benefits of renewable energy.* Technical report.

Villarrubia, M (2012). Ingeniería de la energía eólica.

Wang, Jiang-Jiang; Jing, You-Yin; Zhang, Chun-Fa; y Zhao, Jun-Hong (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263–2278.

A | Anexos

A.1. Formulación de las encuestas

A.1.1. Ejemplo de encuesta de evaluación

Encuesta para la comparación de dos alternativas

INSTRUCCIONES: En las próximas páginas Ud encontrará una lista de criterios que contienen en su interior una lista de beneficios. A la derecha de cada beneficio se encuentran unos espacios en blanco, los cuales significarán la escala de evaluación que Ud encuentre pertinente para cada uno de éstos.

Se le pide llenar el cuadrado correspondiente para saber la evaluación que Ud le daría a cada uno de los beneficios de acuerdo a la definición de cada uno de éstos presentados.

Por ejemplo:

1) Para el criterio 1, subcriterio 1: En comparación al caso base, ¿Cómo cree Ud. que las enfermedades y/o muertes ocasionadas por la contaminación se veerán afectadas con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Aumentan considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
2	Leve aumento en las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
3	Se mantienen las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
4	Leve disminución las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
5	Disminuyen considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire

2) Para el criterio 1, subcriterio 9: En comparación al caso base, ¿cómo cree que será la aceptación social de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy baja aceptación
2	Baja aceptación
3	Mediana aceptación
4	Alta aceptación
5	Muy alta aceptación

Por lo tanto, el cuadro debe ser rellenado de la siguiente manera:

Proyecto GNL					**Beneficios Sociales**	Proyecto Eólico				
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
		X			Enfermedades y muertes					X
	X				Aceptabilidad de la Comunidad				X	

Nombre Encuestador: _____ Fecha: _____

A.1.2. Encuesta de evaluación

Beneficios Sociales

1) Para el criterio 1, subcriterio 1: En comparación al caso base, ¿Cómo cree Ud. que las enfermedades y/o muertes ocasionadas por la contaminación se veerán afectadas con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Aumentan considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
2	Leve aumento en las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
3	Se mantienen las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
4	Leve disminución las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire
5	Disminuyen considerablemente las enfermedades y muertes causadas por la contaminación del aire

2) Para el criterio 1, subcriterio 2: En comparación al caso base, ¿Cómo cree Ud. que sería la contribución a la educación a las personas con respecto al cuidado del medio ambiente, la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy baja contribución a la educación
2	Baja contribución a la educación
3	Mediana contribución a la educación
4	Alta contribución a la educación
5	Muy alta contribución a la educación

3) Para el criterio 1, subcriterio 3: En comparación al caso base, ¿Cree Ud. que la realización de los proyectos presentados, crearán algún incentivo a la investigación e innovación de nuevas formas de descontaminar la zona afectada. Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Ningún incentivo de investigación e innovación
2	Bajo incentivo a la investigación e innovación
3	Mediano incentivo a la investigación e innovación
4	Alto incentivo a la investigación e innovación
5	Muy Alto incentivo a la investigación e innovación

4) Para el criterio 1, subcriterio 4: En comparación al caso base, ¿Cree Ud. que la realización de los proyectos presentados provocará un cambio en la conciencia de los actores involucrados con respecto al cuidado del medio ambiente y a la situación actual que acontece en la zona afectada Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	No se crea conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona
2	Se crea baja conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona
3	Se crea conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona
4	Se crea alta conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona
5	Se crea muy alta conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y la situación actual de la zona

6) Para el criterio 1, subcriterio 6: En comparación al caso base, ¿Cómo cree Ud. que cambiará la autoestima de la comunidad la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Efecto Negativo en la autoestima de la comunidad
2	Leve empeoramiento en la autoestima de la comunidad
3	Mantiene la imagen de la autoestima de la comunidad
4	Leve mejora en la imagen de la autoestima de la comunidad
5	Efecto Positivo en la imagen de la autoestima de la comunidad

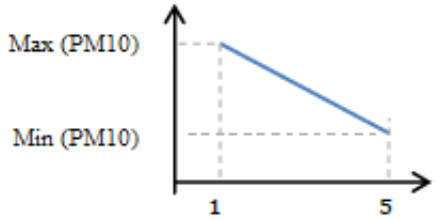
7) Para el criterio 1, subcriterio 7: En comparación al caso base, ¿Cómo cree Ud que será la aceptación de la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy baja aceptación
2	Baja aceptación
3	Mediana aceptación
4	Alta aceptación
5	Muy alta aceptación

Beneficios Ambientales

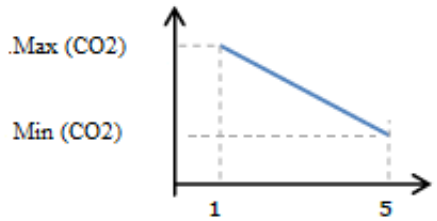
1) Para el criterio 2, subcriterio 1: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que se veerá afectado la emisión de partículas (PM10) con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Max (PM10)
2	.
3	.
4	.
5	Min (PM10)



2) Para el criterio 2, subcriterio 2: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que se veerá afectado las emisiones de gases tipo invernadero con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Max (CO2)
2	.
3	.
4	.
5	Min (CO2)



3) Para el criterio 2, subcriterio 3: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que serán los potenciales efectos que sobre el ambiente y la salud de la comunidad se estima tengan los residuos asociados a la cadena energética con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy alto impacto
2	Alto impacto
3	Mediano impacto
4	Bajo impacto
5	Muy bajo impacto

4) Para el criterio 2, subcriterio 4: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que serán los potenciales impactos que tendrán sobre la mitigación del cambio climática, la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy baja intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático
2	Baja intesidad de impacto en la mitigación del cambio climático
3	Mediana intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático
4	Alta intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático
5	Muy alta intensidad de impacto en la mitigación del cambio climático

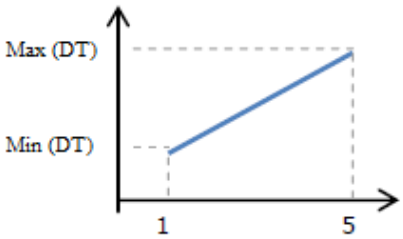
5) Para el criterio 2, subcriterio 5: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que serán los efectos sobre la biodiversidad, la afectación del paisaje y el nivel de ruido que se estima tendrá la instalación y operación de las instalaciones del proyecto, en función de la extensión de tierra ocupada y la intensidad de su uso con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Muy alta intensidad de impacto sobre dos o más de los elementos citados
2	Alta intensidad de impacto sobre dos o más de los elementos citados
3	Mediana intensidad de impacto sobre uno o más de los elementos citados
4	Baja intensidad de impacto sobre uno o más de los elementos citados
5	Intensidad de impacto nula o muy baja

Beneficios Económicos

1) Para el criterio 3, subcriterio 1: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que cambiará el desarrollo turístico de la zona con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Min (DT)
2	.
3	.
4	.
5	Max (DT)



2) Para el criterio 3, subcriterio 2: En comparación al caso base, ¿Cómo cree que será la utilización de los recursos energéticos locales con la realización de los proyectos presentados? Evalúe según la escala descrita a continuación:

1	Nulo uso de las recursos energéticos naturales locales
2	Bajo uso de las recursos energéticos naturales locales
3	Mediano uso de las recursos energéticos naturales locales
4	Alto uso de las recursos energéticos naturales locales
5	Muy alto uso de las recursos energéticos naturales locales

A.2. Encuesta perfil sociodemográfico del encuestado (a)

A continuación le haremos algunas preguntas para saber más de Ud. Los datos son confidenciales.

1. ¿Que edad tiene? _____
2. ¿Cuántas personas viven en su hogar? _____
3. ¿Qué estudios tiene? (¿Hasta qué curso llegó?)

Básica o primaria	Media o Humanidades	Técnica (I. Profesional)	Universitaria	Completa	Incompleta	No tiene

4. ¿Trabaja remuneradamente fuera del hogar?

Sí	
No	

5. ¿Cuál es su ocupación principal?

_____

6. Ingreso mensual familiar (Mostrar tarjeta al entrevistado y pedir que indique el rango de ingreso correspondiente)

Menos de $200.000/mes	
Entre $200.001 y $400.000/mes	
Entre $400.001 y $750.000/mes	
Entre $750.001 y $1.500.000/mes	
Más de $1.500.000/mes	

7. Por último, ¿me podría indicar su teléfono? (En caso que mi supervisor quiera verificar esta encuesta)

_____

A.3. Encuesta comparación de alternativas

INSTRUCCIONES: En la siguiente páginaa Ud. encontrará una lista de criterios que contienen en su interior una lista de subcriterios. A la derecha de cada subcriterio se encuentran unos espacios en blanco, los cuales significarán la escala de evaluación que Ud encuentre pertinente para cada uno de éstos.

Se le pide llenar el cuadrado correspondiente para saber la evaluación que Ud le daría a cada uno de los subcriterios de acuerdo a la definición de cada uno de éstos presentados.

A.3.1. Beneficios Sociales

Proyecto Gas Natural					**Beneficios Sociales**	Proyecto Eólico				
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
					Enfermedades y muertes					
					Educación					
					Investigación e Innovación					
					Concientización Ambiental					
					Autoestima de la Comunidad					
					Aceptabilidad de la Comunidad					

A.3.2. Beneficios Ambientales

Proyecto Gas Natural					**Beneficios Ambientales**	Proyecto Eólico				
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
					Emisiones de Partículas (PM10)					
					Emisiones de gases tipo invernadero					
					Resíduos sólidos y líquidos locales					
					Cambio Climático					
					Requerimiento de Tierras					

A.3.3. Beneficios Económicos

Proyecto Gas Natural					**Beneficios Económicos**	Proyecto Eólico				
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
					Desarrollo turístico					
					Recursos energéticos naturales locales					

A.4. Encuesta para la clasificación de beneficios

INSTRUCCIONES: En esta sección se presentan una serie de beneficios que fueron agrupados en beneficios sociales, económicos y ambientales.

Beneficio Social	**Beneficio Ambiental**	**Beneficio Económico**
a) Enfermedades y Muertes **b)** Educación **c)** Investigación e Innovación **d)** Concientización Ambiental **e)** Autoestima de la Comunidad **f)** Aceptabilidad de la Comunidad **g)** Creación de Empleos	**a)** Emisiones de Partículas (PM10) **b)** Emisiones de gases efecto invernadero **c)** Residuos sólidos y líquidos locales **d)** Cambio Climático **e)** Requerimiento de Tierras	**a)** Desarrollo Turístico **b)** Tasa de Compensación **c)** Costos Energéticos **d)** Disminución Uso de Agua **e)** Recursos energéticos naturales locales

En base a su criterio, ordene de **mayor a menor importancia** cada uno de los beneficios presentados en cada grupo. Coloque la letra asignada a cada beneficio en el orden de importancia seleccionado.

Beneficio Social	**Beneficio Ambiental**	**Beneficio Económico**
1. _____	**1.** _____	**1.** _____
2. _____	**2.** _____	**2.** _____
3. _____	**3.** _____	**3.** _____
4. _____	**4.** _____	**4.** _____
5. _____	**5.** _____	**5.** _____
6. _____		
7. _____		

B | Anexos 2

Monto de la Inversión		$ 1.255.716.000				
1. Monto Inversión Neto de Impuestos		$ 1.073.261.538				
2. Seprar Mano de Obras de Materiales e Insumos						
2.1 Materiales	Porcentaje	45%	Monto	$ 482.967.692		
2.1.1.	Nacional		Porcentaje	65%	Monto	$ 313.929.000
2.1.2.	Importado		Porcentaje	35%	Monto	$ 158.896.371
		Tipo de Cambio	Factor de Ajuste	Tipo de Cambio	Monto Ajustado	
		700	1,01	707	$ 160.485.334	
			Costo Social de Materiales		$ 474.414.334	
2.2 Mano de Obra	Porcentaje	55%	Monto	$ 590.293.846		

	% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
Mano de Obra No Calificada	20%	$ 118.058.769	0,62	$ 73.196.437
Mano de Obra Semi Calificada	50%	$ 295.146.923	0,68	$ 200.699.908
Mano de Obra Calificada	30%	$ 177.088.154	0,98	$ 173.546.391
			Costo Social Mano de Obra	$ 447.442.735
			Costo Social de Inversión	$ 921.857.069,86

Fuente: Elaboración propia .