



SEMINARIO

Matriz Energética 2010-2030 “Construyendo escenarios, innovando y rompiendo paradigmas: Discusiones hacia una visión energética-eléctrica para Chile”

Metodología para la Preparación y Evaluación de Escenarios Eléctricos

5 de Junio 2009

Autores:

Nicola Borregaard
Annie Dufey
Victor Martínez
José Ignacio Medina
Juan Molina
Hugh Rudnick

1.	Introducción	3
2.	Resumen explicativo del modelamiento: definición de escenarios y plan de obras	5
2.1	Definición de plan de obras	5
2.1.1.	Demanda de Energía.....	6
2.1.2.	Expansión de la generación.....	6
2.1.3.	Expansión predefinida	6
2.1.4.	Expansión propuesta	7
2.2	Las Tecnologías Propuestas.....	8
2.3	Costos de las tecnologías y emisiones de CO ₂	13
2.4	Planilla Excel para ingreso del plan de obras	14
2.4.1	Planilla Matriz.....	16
2.4.2	Planilla Tech	17
2.4.3	Creación Plan de Obras	18
3	Otros Indicadores Cuantitativos	20
3.3	Consumo de agua, emisiones locales y uso de suelo	20
3.4	Innovación	28
4	Las Variables Técnicas Cualitativas Importantes	30
4.3	Biodiversidad y otros efectos ambientales	30
4.4	Desarrollo local y empleo generado	32
5	Referencias.....	36
6	Anexos.....	41

1. Introducción

Durante los últimos años en Chile se han registrado avances en materia de regulación energética, se han introducido temas emergentes como la Eficiencia Energética (EERE), se han incorporado nuevas tecnologías en el campo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y se han dado los primeros pasos en el trazado de nuevos lineamientos para la definición de una política energética para Chile. Sin embargo, aún resta mucho por hacer.

La creciente preocupación nacional por la composición de la matriz energética eléctrica, gatillada por factores como alzas y volatilidad de precios, riesgos de desabastecimiento; y la creciente dificultad para la aprobación de proyectos de inversión, debido a preocupaciones ambientales y sociales, y los constantes planteamientos en torno a la insuficiencia de las regulaciones relacionadas con el uso del territorio, muestran un escenario con grandes interrogantes.

En este contexto, y con el propósito de contribuir a una discusión seria y realista en torno a la matriz energética del país, Empresas Eléctricas A.G., Fundación AVINA-Chile, Fundación Futuro Latinoamericano, Fundación Chile y Universidad Alberto Hurtado están organizando el seminario “La matriz energética 2010-2030. Construyendo escenarios, innovando y rompiendo paradigmas: discusiones hacia una visión energética-eléctrica para Chile”.

Como el título de la actividad lo sugiere, el insumo fundamental para esta actividad será la discusión de distintos escenarios de generación eléctrica para el 2030. Dichos escenarios serán propuestos por instituciones invitadas, pertenecientes a distintos sectores de la sociedad incluyendo empresas eléctricas, universidades y organizaciones de la sociedad civil.

Cada institución proponente elaborará, de acuerdo a su visión para el sector eléctrico chileno, su propio escenario o “plan de obras”, centrado en el Sistema Interconectado Central, y se responsabilizará por él. Se aplicará un esquema metodológico común para la formulación y análisis de cada escenario y sus impactos bajo parámetros definidos por el Comité Técnico. Este Comité, compuesto por Fundación Chile, Universidad

Alberto Hurtado y Universidad Católica de Chile, efectuará un acompañamiento técnico a las instituciones proponentes durante el desarrollo de sus escenarios, y supervisará la calidad del análisis efectuado en cada caso. Asimismo, el Comité Técnico se reserva el derecho de reprobado la presentación de un escenario si no cumple con el estándar de calidad mínimo esperado.

Los resultados de los distintos escenarios serán presentados por las instituciones proponentes respectivas el día del seminario buscando generar una discusión sobre los distintos temas relevantes que surgen de las diversas opciones de expansión de la matriz eléctrica chilena, a través de un análisis objetivo e independiente, que no refleja ni compromete la visión de las entidades organizadoras acerca del futuro de la matriz del sector generación.

El siguiente documento describe los elementos básicos del esquema metodológico común para formular y analizar los impactos de los escenarios en términos del tipo de insumos que serán requeridos por los participantes para la elaboración de éstos, los parámetros económicos, sociales y ambientales que se deberán abordar así como los criterios de evaluación.

Con el objeto de promover una discusión lo más transparente y objetiva posible, y de facilitar la comparación entre escenarios, se han realizado esfuerzos para, donde fuera posible, construir indicadores cuantitativos, a partir de la información disponible relevante a la fecha. Para aquellos temas relevantes, pero que no existe información que permita la construcción de indicadores cuantitativos, se abordan igualmente pero en forma cualitativa.

Con este fin en mente, luego de esta breve introducción, la sección 2 detalla brevemente el tipo de modelamiento a ser utilizado en términos de la formulación de los escenarios o plan de obras. También describe brevemente las opciones tecnológicas propuestas, sus costos y emisiones para finalmente abordar el manejo de la planilla Excel donde se ingresa el plan de obras del proponente. La sección 3 aborda otras variables técnicas cuantitativas tales como empleo, emisiones locales, uso del suelo, consumo de agua y potencial de innovación. La última sección aborda las variables técnicas cualitativas específicamente efectos sobre la biodiversidad, residuos nucleares e impactos sobre el desarrollo local. Se incluye un anexo con referencias y se adjuntan además anexos con la planilla Excel, y tablas de referencias para la construcción de los indicadores cuantitativos..

2. Resumen explicativo del modelamiento: definición de escenarios y plan de obras

2.1 Definición de plan de obras

Cada institución debe entregar un plan de obras para los próximos 30 años, consistente en una lista de centrales de generación (indicando tecnología y tamaño) y su incorporación en el tiempo al Sistema Interconectado Central (SIC). Si en la propuesta se considera la interconexión del SIC con el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), esta interconexión deberá representarse como una o más centrales conectadas al SIC. El plan de obras sólo debe indicar a qué tecnología corresponde cada central incorporada, según alternativas que se indican más adelante.

Las características de las tecnologías en términos de inversión, operación, emisiones y demás características técnicas, a utilizar en las simulaciones, serán definidas por el comité técnico, a partir de información pública suministrada por organismos internacionales especializados en la materia. Los proponentes conocerán esta información y tendrán la posibilidad de entregar al comité técnico valores diferentes en caso de no estar incluida una variante específica de alguna de las tecnologías o diferir respecto a los valores presentados. Esta información será revisada junto a sus fuentes para evaluar la factibilidad de los mismos, determinando si son aceptados o no.

La modelación económica del costo total de operación del plan de obras formulado será realizada considerando un despacho económico centralizado simplificado, con una representación aproximada de pérdidas.

Por otra parte, se evaluará la seguridad del suministro energético con una metodología que se centra en el análisis de la evolución de la demanda y suministro de la energía, ya sea a nivel global o por sector, mediante indicadores de diversidad de energía, energía firme y potencia, para evaluar los diferentes escenarios de la matriz eléctrica propuesta y el impacto de la importación de las fuentes combustibles y sus lugares de origen. La metodología implementada se basa en los conceptos desarrollados por Stirling (2003) y Jansen (2004), que utilizan análisis de diversidad en función del

numero de fuentes de energía (para el caso en estudio en función de las fuentes seleccionadas en la planilla) y según los resultados del despacho económico. Adicionalmente, se evalúa la incidencia de la estabilidad socio-política y de recursos de las regiones de origen de las fuentes combustibles.

2.1.1. Demanda de Energía

La proyección de crecimiento de la demanda se realizará en conformidad a la previsión utilizada en la fijación de precios de nudo de abril del 2009 de la Comisión Nacional de Energía (en adelante PNudoCNE). Para los años 2020-2030 se hará uso del valor medio esperado del horizonte de análisis de PNudoCNE, que corresponde a un 5,14%.

2.1.2. Expansión de la generación

La expansión de la generación en el horizonte de 30 años considerará dos fuentes de información. Por una parte, se considerará como predefinida la expansión que la CNE en PNudoCNE considera en etapa de construcción. Por otra parte, se considerará la expansión definida por cada institución invitada, que deberá ser entregada en una planilla Excel entregada por el comité técnico.

2.1.3. Expansión predefinida

La Comisión Nacional de Energía a través del anexo 5 de PNudoCNE presenta las centrales generadoras en construcción en un horizonte de 10 años (2009-2019), que para efectos del presente estudio se considerará como predefinida. En la Tabla 2.1 se entrega el listado detallado de dichas centrales. En este estudio no se considerará el plan de obras adicionales propuestas por la CNE en PNudoCNE, independiente que más adelante se resume algunos criterios utilizados por esta para formular su plan.

Tabla 2.1. Plan de Obras en Construcción CNE Abril 2009.

Fecha de entrada		Obras en Construcción de Generación	Potencia
Mes	Año		MW
Abril	2009	Central Diesel Santa Lidia	132
Abril	2009	Turbina Diesel Tierra Amarilla	142
Abril	2009	Turbina Diesel Newen	15
Abril	2009	Ciclo Abierto GNL Quintero 01 ope Diesel	240
Mayo	2009	Turbina Diesel Teno	50
Mayo	2009	Turbina Diesel TG TermoChile	60
Mayo	2009	Turbina Diesel TG Peñón	37
Mayo	2009	Central Diesel Chuyaca	20
Mayo	2009	Central Termoelectrica Punta Colorada 01 Fuel	16.3
Mayo	2009	Turbina Diesel Campanario 04 CA	42
Mayo	2009	Central Diesel Termopacifico	96
Julio	2009	Central Hidroeléctrica La Higuera	155
Julio	2009	Central Eólica Punta Colorada	20
Septiembre	2009	Central Carbón Guacolda 03	135
Septiembre	2009	Central Diesel Calle-Calle	20
Octubre	2009	Central Diesel EMELDA	76
Octubre	2009	Central Eólica Canela II	60
Octubre	2009	Central Eólica Monte Redondo	38
Noviembre	2009	Turbina Diesel Campanario IV CC	60
Noviembre	2009	Central Hidroeléctrica Licán	17
Noviembre	2009	Central Eólica Totoral	46
Enero	2010	Nueva capacidad Planta cogeneradora Arauco	22
Enero	2010	Central Carbón Nueva Ventanas	240
Junio	2010	Central Carbón Guacolda 04	139
Julio	2010	Central Hidroeléctrica Confluencia	155
Octubre	2010	Central Carbón Santa María	343
Octubre	2010	Central Carbón Bocamina 02	342
Abril	2011	Chacayes	106
Junio	2011	Central Carbón Campiche	242

2.1.4. Expansión propuesta

La expansión complementaria debe ser definida por el proponente usando las diversas opciones tecnológicas disponibles en el mercado. Este plan se debe definir según los requerimientos y supuestos considerados por el proponente. Será responsabilidad del

proponente verificar que el plan de obras garantiza el suministro durante todo el horizonte de análisis. Si el proponente considerara necesario, podrá adjuntar información adicional (estudios) que justifiquen el desarrollo de su plan de obras.

Cada central propuesta deberá considerar una localización geográfica definida por alguna de las regiones del país, lo que será utilizada para una representación aproximada de las pérdidas de transmisión. La caracterización de las tecnologías propuestas, en cuanto a sus parámetros e impactos, será realizada sobre una base acordada por el comité técnico, privilegiando información pública de organismos internacionales, como la Agencia Internacional de Energía, cuando sea posible. Los estudios base de información son los siguientes:

- World Energy Outlook 2008, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, ISBN: 978-92-64-04560-6, 2008.
- Carbón Dioxide Capture and Storage, IPCC Special Report, Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ISBN-13 978-0-521-86643-9, 2005.
- Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update, Nuclear Energy Agency (NEA)-International Energy Agency (IEA)-Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), ISBN 92-64-00826-8, 2005.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006, Volume 2: Energy, Chapter 1: Introduction, UNFCCC, 2006.
- Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios & strategies to 2050, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, ISBN: 92-64-04142-4, 2008.
- Renewable 2007 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), www.ren21.net, 2007.
- Tool to calculate the emission factor for an electricity system, UNFCCC/CCNUCC, CDM Executive Board, EB 35 Report, Annex 12, version 01.1, 2008.

2.2 Las Tecnologías Propuestas

En la Tabla 2.2 se entrega el listado de las distintas opciones de generación que pueden ser incluidas dentro de las estrategias de expansión de la matriz del sector generación. En el caso de existir una tecnología que no se encuentre incluida en la Tabla 2, el proponente de la tecnología deberá incluirla como “Otras” y entregar una

breve nota acerca de la tecnología. De igual forma debe incluir toda la información requerida para la modelación de dicha tecnología tal como se muestra en la hoja Tech de la planilla Excel que servirá para incorporar el plan de obras.

Tabla 2.2. Lista de Tecnologías (en revisión)

Biomasa Base	Gas Natural (GNL) Turbina de gas de ciclo abierto
Biomasa BIGCC	Gas Natural (GNL) CCGT (Ciclo combinado)
Biomasa Co-combustión con carbón	Gas Natural (GNL) CCGT con CCS
CHP	Geotérmica (Hidrotérmica)
	Geotérmica (Vapor de roca)
Carbón CP (Combustible pulverizado)	Hidro Embalse
Carbón CP con CCS	Hidro Pasada
Carbón CIF (Lecho fluido circulante)	Hidro ERNC (< 20 MW)
Carbón CCGI (Gasificación integrada)	Mareomotriz (Tidal Barrage)
Carbón CCIG con CCS	Mareomotriz (Tidal current)
Motor Diesel	Mareomotriz (Olas)
Eficiencia Energética	
Eólica Marítima	Nuclear III+
Eólica Terrestre	Nuclear IV
Fotovoltaica	Concentración Solar

En la planilla Excel adjunta se encuentra la información relevante considerada para cada una de las tecnologías descritas en la Tabla 2.2.

A continuación se describe brevemente la visión respecto a las tecnologías consideradas por la CNE en PNudoCNE, así como las consideraciones técnico-económicas utilizadas por la CNE. Los datos descritos son de referencia.

2.2.1. Generación Hidráulica

En el desarrollo de la fijación tarifaria de abril 2009 (PNudoCNE), la CNE utilizó antecedentes disponibles de potencial hidráulico, a partir de los cuales definió varios módulos de generación de expansión factibles que se encontrarían ubicados en la XI Región que contemplan la instalación de 1620 MW, con costos de unitarios de inversión de 2.000US\$/kW. Los proyectos adicionales de menor envergadura informados por las empresas que son incluidos en la fijación consideran un costo de inversión de 1.700 US\$/kW.

La clasificación usada por la CNE y utilizada en este estudio define 3 tipos de generación hidráulica:

- Centrales hidráulicas con embalse.
- Centrales hidráulicas de pasada.
- Centrales hidráulicas ERNC menores a 20 MW.

2.2.2. Generación en base a Carbón

El plan de obras de la Comisión Nacional de Energía de abril del 2009 presenta la tecnología a carbón como base para la expansión durante los próximos 10 años, con proyectos factibles localizados en las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso, del Biobío y de los Lagos, con costos unitarios de inversión de 2.300 US\$/kW los cuales incluyen la realización de puertos, necesario para la descarga y almacenamiento del carbón, y los costos de los equipos de mitigación ambiental.

Para el desarrollo del estudio se han definido 3 tipos de tecnologías de generación:

- CP (Combustible pulverizado).
- CIF (Lecho fluido circulante).
- CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada).

Adicionalmente, se considera sistemas de captación y almacenamiento de CO₂ (CCS).

2.2.3. Generación en base a Petróleo

La CNE no plantea dentro de su estrategia la expansión con tecnología en base a petróleo y sus derivados como opción de expansión del sistema. Básicamente, utiliza el motor diesel como tecnología de punta.

Para el desarrollo del estudio se considera la generación diesel como una opción.

2.2.4. Generación en base a Gas Natural Licuado

La CNE no considera proyectos de expansión con centrales de ciclo combinado de gas natural. Sin embargo, considera algunos proyectos en ciclo abierto.

Para el desarrollo del estudio se han definido 3 tipos de tecnologías de generación con gas natural licuado:

- Gas Natural (GNL) Turbina de gas de ciclo abierto

- Gas Natural (GNL) CCGT (Ciclo combinado)
- Gas Natural (GNL) CCGT con sistemas de captación y almacenamiento de CO2.

2.2.5. Generación en base a Energía Eólica.

La CNE dentro de su plan de obras ha incluido proyectos tipos de 40 MW factibles, localizados en las regiones de Coquimbo y del Biobío, con costos unitarios de inversión de 1.800 US\$/kW, los cuales incluyen la subestación y la conexión al sistema de transmisión.

Para el desarrollo del estudio se han definido 2 tipos de tecnologías de generación:

- Centrales eólicas terrestres, principalmente ubicadas en la costa.
- Centrales eólica marítimas, las cuales se encuentran mar adentro.

2.2.6. Generación en base a Energía Solar.

El desarrollo de proyectos a partir de concentración solar y celdas fotovoltaicas no se encuentra incluido dentro del plan de obras de la CNE.

Para el desarrollo del estudio se han definido 2 tipos de tecnologías de generación:

- Tecnología de concentración solar (torre, concentradores parabólicos, etc.).
- Tecnología fotovoltaica. Básicamente almacenamiento de energía y convertidores.

2.2.7. Generación en base a Energía Geotérmica.

La CNE ha considerado como alternativa de expansión, la energía geotérmica. En su plan de obras ha incluido centrales geotérmicas, ubicadas en la zona cordillerana de las Regiones del Maule y del Biobío, con costos unitarios de inversión de 3.550 US\$/kW. Estas centrales entran con bloques de 40 MW y 25 MW respectivamente.

Para el desarrollo del estudio se han definido 2 tipos de tecnologías de generación:

- Tecnología con extracción de agua de temperaturas medias a altas (hidrotérmica).
- Tecnología de extracción de calor de materiales sólidos (vapor de roca).

2.2.8. Generación en base a Energía Nuclear.

La CNE no incluye en su plan de obras la expansión en base a energía nuclear.

Para el desarrollo del estudio se han definido 2 tipos de tecnologías de generación, las cuales se basan en reactores de fisión, definidas por la IEA (ver referencia IEA 2008 Energy Technology Perspectives 2008):

- Tecnología de generación III+.
- Tecnología de generación IV (operación altamente económica y residuos mínimos).

2.2.9. Generación en base a Biomasa.

Para el desarrollo del estudio se han definido 3 tipos de tecnologías de generación:

- Tecnología básica de residuos sólidos o desechos forestales.
- Tecnología de residuos sólidos con co-combustión de carbón.
- Tecnología de residuos sólidos con ciclo combinado de gasificación integrada (BIGCC).

Adicionalmente, se considera procesos de cogeneración de energía eléctrica y calor (CHP), deberá especificarse el combustible utilizado.

2.2.10. Generación Mareomotriz.

La CNE no presenta proyectos de expansión mediante el uso de esta tecnología en su plan de obras.

Para el desarrollo del estudio se han definido 3 tipos de tecnologías de generación:

- Tecnología a base del movimiento o diferencia de alturas de las olas.
- Tecnología a base de corrientes marinas (Tidal Current).
- Tecnología a base de mareas (Tidal Barrage)

-

2.2.11. Eficiencia energética

La CNE no define la eficiencia energética como una componente en el plan de obras, salvo que la considere en sus estimaciones de demanda, donde la relación entre el crecimiento del PGB y el crecimiento de la demanda eléctrica pueden desacoplarse y reducir la tasa de crecimiento de dicha demanda. Para el desarrollo del estudio se ha considerado la posibilidad de especificar tasas porcentuales anuales de avance en eficiencia energética. Se sugiere basarse en las siguientes referencias nacionales para estos efectos: Chile Sustentable, (2008) “Aporte Potencial de: Energías Renovables No Convencionales y Eficiencia Energética a la Matriz Eléctrica”, elaborado por el PRIEN de la Universidad de Chile y la Universidad Técnica Federico Santa María; y Programa País Eficiencia Energética “ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA, MEDIANTE MEJORAMIENTOS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS DISTINTOS SECTORES”, Informe Final, Presentado por el Programa de Estudios e Investigaciones en Energía (PRIEN) Instituto de Asuntos Públicos Universidad de Chile, enero de 2008 y/o especificar experiencias internacionales sobre las cuales se basen dichas tasas.

2.3 Costos de las tecnologías y emisiones de CO₂

Los costos de inversión y operación del sistema han sido obtenidos de la Agencia Internacional de Energía - IEA, a través de los informes anuales (2005-2008) emitidos por esta entidad, los cuales están descritos en la sección 1.2.2. Adicionalmente, se han considerado los costos adicionales por almacenamiento y captura de CO₂, los cuales han sido obtenidos del reporte emitido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC (2005). Los costos de combustible se obtienen de los reportes y proyecciones de la IEA (2005-2008) y el mercado NYMEX.

Se asignará un costo al logro de tasas de eficiencia energética, en base a las experiencias de California e Italia.

En el caso del impacto de las emisiones de los gases de efecto invernadero, se ha considerado el costo de los Certificados de Emisión de Carbón - CER, del mercado Europeo – ECX/ICE (European Climate Exchange- ECX). El valor actual del certificado en promedio es de 12.5 € y el cálculo del factor de emisión por tipo de tecnología, se ha realizado con base en la formulación desarrollada por la Unidad de Cambio Climático de las Naciones Unidas – UNFCC (2008). A partir de dicha estimación se obtiene el factor de emisión que será usado en las simulaciones, según la cantidad de energía que inyecte al sistema cada una de las centrales que hacen parte del plan de obras presentado por el proponente.

Se considerará el incremento de los costos de operación e inversión por captura y almacenamiento de CO₂, la relación de costo de 2,5 entre los proyectos offshore y onshore eólicos, el incremento del costo de generación por la inyección variable de energía eólica (Balance de Energía) y el costo de inversión y operación de las centrales eólicas por expansión o reforzamiento del sistema. De acuerdo al alcance del estudio, se asumirá que el factor de emisión es solo para el ciclo de vida operacional.

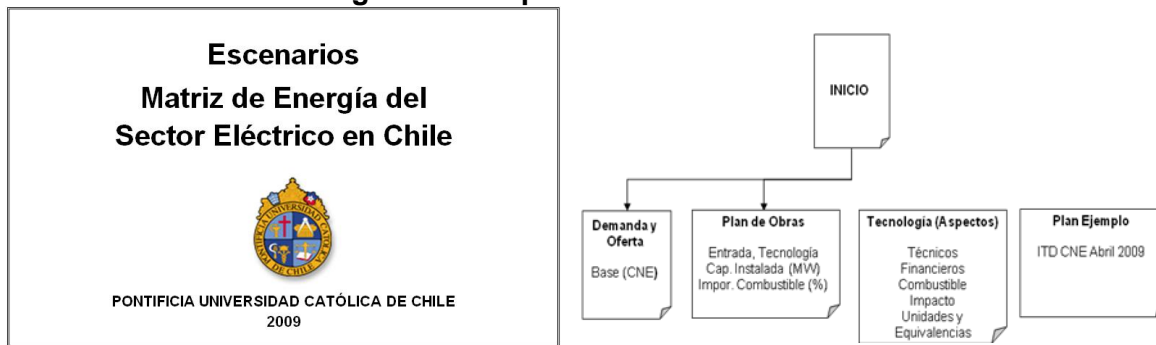
2.4 Planilla Excel para ingreso del plan de obras

Con el fin de poder definir planes de obras alternativos que puedan ser comparados bajo los mismos criterios definidos en este ejercicio, se ha diseñado una planilla en Excel que permita definir un escenario de la matriz energética del sector eléctrico en Chile, considerando aspectos técnicos, financieros, fuentes de combustible e impacto de las tecnologías utilizadas. En la

Figura 2.1 se identifica las diferentes planillas consideradas para la elaboración del escenario y en cada una de ellas se describe las celdas a completar. Se ha incluido un

ejercicio a modo de ejemplo en donde se incluye el plan de obras recomendado por la Comisión Nacional de Energía, de esta manera el proponente podrá conocer la forma en que deben ingresarse los datos en la planilla.

Figura 2.1. Mapa Planilla Escenarios.



Cada planilla cuenta con un botón ■, el cual se utiliza como navegador entre las diferentes planillas a completar. Las celdas de color amarillo han sido habilitadas para llenar la planilla □. El archivo Excel está compuesto de 7 planillas.

- *Inicio*: Planilla informativa y con los botones para navegar por el documento.
- *Menú*: Planilla informativa respecto a las tecnologías.
- *Demanda&Oferta*: Planilla informativa en la que se describe la proyección de la demanda en GWh, la capacidad instalada del SIC (2008), las obras en construcción de generación del estudio de la CNE de abril 2009, los tipos de tecnologías, fuentes combustibles y regiones en las que se podrán ubicar los proyectos.
- *Plan de Obras*: Esta planilla es la única que requiere información por parte del proponente y en la cual debe ser ingresado el plan de obras propuesto.
- *Tech*: Planilla que contiene los datos de referencia por tipo de tecnología, costo de combustibles, factores de emisión y unidades y equivalencias.

- *Plan Ejemplo CNE*: Planilla que muestra un ejemplo de plan de obras mediante el uso de las centrales recomendadas por la CNE en la fijación tarifaria PNudoCNE.

Dado que la validez de cada escenario propuesto depende del grado de información que está presente, es de gran importancia que la planilla Matriz sea completada en su totalidad. A continuación, se describe por celda (Columna/Fila) las planillas *Matriz* y *Tech* de manera que le brinden una información clara al proponente para formular el plan de obras deseado.

2.4.1 Planilla Matriz

Para la construcción del plan de obras se han definido 15 tecnologías globales de acuerdo a su fuente de combustible. Por ejemplo, el combustible “Agua” se ha clasificado de tres formas: Embalse, Pasada y ERNC Hidro (< 20 MW). En la Figura 2.2 se observan las 15 opciones globales y se requiere que al menos el proponente considere 7 fuentes para iniciar la construcción del plan de obras.

Figura 2.2. Opciones de Fuentes Combustibles

Seleccionar con una "x" las fuentes consideradas. Mínimo 7 fuentes (Caso base).														
Embalse	1 HE	<input type="checkbox"/>	Diesel (& Nuclear	6 DI	<input checked="" type="checkbox"/>	ERNC Hidro	11 EH	<input checked="" type="checkbox"/>						
Pasada	2 HP	<input type="checkbox"/>		7 NU	<input type="checkbox"/>	Eólica	12 EE	<input checked="" type="checkbox"/>						
Carbón & Deriv.	3 CA	<input type="checkbox"/>	Cogeneración	8 CG	<input checked="" type="checkbox"/>	Geotérmica	13 EG	<input checked="" type="checkbox"/>						
Gas Natural	4 GN	<input type="checkbox"/>	Biomasa (Des. Fort)	9 BI	<input checked="" type="checkbox"/>	Solar Terr/Fotov.	14 ES	<input type="checkbox"/>						
GNL	5 GL	<input type="checkbox"/>	Efi. Energética	10 EN	<input type="checkbox"/>	ERNC Otro	15 EO	<input type="checkbox"/>						

Una vez seleccionado, se pide asignar un nombre al plan de obras, el cual será utilizado como nombre referente para su comparación con otros planes de obra. Considerando un ambiente similar al desarrollado por la CNE en su respectivo plan de obras, se ha definido una matriz (Fila: Central m , Columna: Característica n) en la cual el proponente deberá ingresar una a una las centrales que ha considerado en su plan de obras propuesto. Se ha definido por defecto la disponibilidad de ingreso de 50 centrales y para cada una de estas el proponente deberá ingresar lo siguiente:

- Mes y Año de la entrada de la central.
- Fuente: Según las opciones descritas en la Figura 2.2.
- Nombre: Nombre asignado a la central y en la celda continua colocar un nombre nemotécnico de 4 letras y/0 números.

- Tipo Tecnología: Según opciones de la Figura 2.2
- Potencia: Capacidad instalada de la Central en MW.
- Pmin: Potencia mínima de la central para ser considerada en el despacho económico.
- PMax: Potencia máxima de la central para ser considerada en el despacho económico.
- Punto de Conexión: Seleccionar la región desde la cual se inyecta la energía a la red.
- Inversión (M USD\$): Valor de inversión de la infraestructura de transmisión y conexión al sistema, en millones de dólares americanos.
- Empresa: Nombre de la empresa a la cual pertenecerá la central (prevalece el administrador sobre el dueño de la propiedad de la central).

Para finalizar el plan de obras propuesto se debe ingresar el porcentaje de importación de combustibles (Pet. & Deriv., Carbón & Deriv., GNL, Gas Natural, Nuclear) de dos formas. La primera, de forma global por combustible y la segunda, para cada tipo de combustible por país de origen.

2.4.2 Planilla Tech

Para el análisis y comparación de los escenarios propuesto se ha definido una planilla marco que incluirá toda la información relevante y de base que se utilizará en el despacho económico y posterior comparación entre planes de obra. La planilla Tech incluye lo siguiente:

- Datos referencia por tipo de tecnología: De acuerdo a las tecnologías descritas en la Figura 2.2 se encontrará el tipo tecnología, su caracterización por rango de potencia (MW), la eficiencia tecnológica (%), la emisiones equivalentes de gases de efecto invernadero (tCO₂eq/MWh), la vida útil (no necesariamente la vida tecnológica o económica, sino la relevante para el análisis de escenario) y los costos de inversión (USD/kW) y operación (USD/MWh) para un rango de costos (bajo, promedio, alta y proyección esperada), así como indicadores de seguridad, consumo de agua, emisiones locales, uso de suelo y empleo generado.

- Costo combustible: Se entrega la evolución del costo por tipo de combustible para 3 escenarios (promedio, máximo y mínimo) y horizonte de estudio (IEA – NYMEX). A su vez, se describe valores de referencia de consumo específico y costo variable no combustible (CNE).
- Factores de emisión: De acuerdo a la metodología de la Unidad de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se han definido los factores de emisión por tipo de combustible (kg/GJ) y su respectivo factor de emisión por tecnología (tCO₂eq/MWh) a ser considerado.
- Unidades y Equivalencias: Se presentan tablas de unidades, abreviaturas, factores de conversión de unidades y densidades y poder calorífico de combustibles definidos por la CNE.

Es importante considerar que el dato referencia correspondiente a las celdas vacías es el dato inmediatamente superior de la misma fuente combustible. Adicionalmente, si el proponente considera datos relevantes distintos a los descritos en la planilla *Tech*, estos deberán ser adjuntados.

2.4.3 Creación Plan de Obras

Para la creación de un plan de obras en la planilla Excel (Office 2007.xlsx), debe permitirse el uso de Macros, por lo que se pide habilitar esta característica (es decir deshabilitar la seguridad que restringe el funcionamiento de las Macros). La planilla Excel deberá ser guardada con el nombre del plan de obras (corto < 10 letras) y el proponente deberá completar en la planilla *Plan de Obras* lo siguiente:

1. Tipos de fuentes combustibles.
2. Nombre plan de obras.
3. Plan de obra propuesto (Tecnologías/Centrales a recomendar).
4. Importación de combustibles (%).
5. Notas y supuestos.

La planilla *Plan Ejemplo CNE* sirve a modo de referencia para el proponente.

Para crear el plan de obras, favor hacer clic en [MatrixEscv13.xlsx](#) y una vez finalizado y almacenado, enviarlo a hrudnick@puc.cl

Para resolver dudas, favor contactar a:

- Hugh Rudnick hurdnick@puc.cl
- Juan David Molina jvmolina@uc.cl
- Víctor Julio Martínez vlmartin@uc.cl

Tabla 2.3: Plan de Obras Recomendado PNudoCNE

Fecha de Entrada		Obras Recomendadas de Generación		Potencia
Mes	Año	Fuente	Obra	MW
Octubre	2010	Eólica	IV Región 1	40
Diciembre	2010	Central	Des.For. VIII Región 1	15
Diciembre	2010	Central	Des.For. VIII Región 2	10
Diciembre	2010	Eólica	IV Región 2	40
Diciembre	2010	Hidroeléctrica	Rucatayo	60
Diciembre	2010	Hidroeléctrica	X Región 2	9.4
Abril	2011	Hidroeléctrica	VII Región 1	5.4
Abril	2011	Hidroeléctrica	VI Región 1	30.9
Abril	2011	Hidroeléctrica	VI Región 2	29.6
Junio	2011	Eólica	IV Región 3	40
Julio	2011	Eólica	Concepción 1	40
Julio	2011	Central	Des.For. VII Región 1	9
Julio	2011	Central	Des.For. VII Región 2	8
Septiembre	2011	Hidroeléctrica	VIII Región 1	136
Octubre	2011	Hidroeléctrica	X Región 1	15
Diciembre	2011	Eólica	Concepción 2	40
Septiembre	2012	Hidroeléctrica	XIV Región 1	144
Marzo	2013	Carbón	V Región 1	200
Abril	2013	Eólica	IV Región 4	40
Abril	2013	Hidroeléctrica	VII Región 3	25.4
Julio	2013	Eólica	IV Región 5	40
Septiembre	2013	Eólica	Concepción 3	40
Noviembre	2013	Ciclo	Combinado GNL Quintero 1	350
Noviembre	2013	Ciclo	Combinado GNL Quintero 1 FA	35
Enero	2014	Ciclo	Combinado GNL Tal Tal	360
Marzo	2014	Hidroeléctrica	VIII Región 3	20
Abril	2014	Eólica	Concepción 4	40
Julio	2014	Hidroeléctrica	VII Región 4	20
Abril	2015	Hidroeléctrica	VIII Región 4	20

Octubre	2015	Geotérmica	Calabozo 1	40
Octubre	2015	Geotérmica	Chillan 1	25
Diciembre	2015	Carbón	Maitencillo 1	139
Abril	2016	Eólica	IV Región 6	40
Abril	2016	Módulo	Hidroeléctrico 5	360
Julio	2016	Hidroeléctrica	Cóndores	150
Enero	2017	Hidroeléctrica	XIV Región 2	139
Marzo	2017	Geotérmica	Calabozo 2	40
Marzo	2017	Geotérmica	Chillan 2	25
Octubre	2017	Eólica	IV Región 7	40
Octubre	2017	Carbón	Pan de Azúcar 1	200
Febrero	2018	Módulo	Hidroeléctrico 3	460
Julio	2018	Geotérmica	Calabozo 3	40
Julio	2018	Geotérmica	Chillan 3	25
Septiembre	2018	Eólica	Concepción 5	40
Marzo	2019	Módulo	Hidroeléctrico 2	500

3 Otros Indicadores Cuantitativos

3.3 Consumo de agua, emisiones locales y uso de suelo

Para abordar los impactos según las fuentes de energía en el consumo de agua, emisiones locales y uso de suelo se utilizó puntajes entre 1 a 5, asignados según un rango relativo a cada tipo de impacto, donde 1 es lo más bajo, y 5 es el puntaje más alto. Esto permite comparar las bondades de cada fuente de energía de acuerdo a sus impactos dentro de cada variable estudiada de una manera más clara. Estos puntajes se establecieron a partir de referencias bibliográficas recopiladas en internet, abarcando preferiblemente documentos de organismos internacionales o papers referenciadas ISI, pero integrando también en caso necesario otros papers, documentos y artículos internacionales como nacionales relevantes. Cada caso, por tanto, tiene asignado puntajes de acuerdo a rangos definidos al comparar la bibliografía recopilada.

Es importante mencionar, que para muchos de estos temas, se promediaron los valores encontrados, según cada fuente de energía y para cada caso. Esto se debe ya que en algunas referencias se encontraban valores de los indicadores muy altos, y otros muy bajos, lo que hace presumir que, inevitablemente, los valores de los indicadores dependen de los contextos de donde proviene el estudio. Los valores presentados

proporcionan por lo tanto cifras gruesas promedios que en algunos casos pueden tener rangos bastante amplios.

Dentro del estudio de la variable de emisiones locales, se trabajó con la metodología de análisis multicriterio, ya que se contaba con diferentes variables, pero que podrían agruparse también dentro de un indicador superior .

Cada puntaje definido, se justifica por medio de la referencia bibliográfica citada, que aparece la derecha del puntaje y entre paréntesis cuadrados [].

3.1.1 Emisiones Locales

En la búsqueda bibliográfica, se indagó en referencias nacionales e internacionales, tomando finalmente solo una fuente, de referencia internacional, ya que es muy completa, aplica el concepto de ciclo de vida, y permite las comparaciones entre fuentes. Esto se complementa sólo en un valor con la segunda fuente, que son las emisiones presentadas a nivel nacional. Estas últimas deberían servir principalmente de referencia general, para comparar los valores actuales a nivel internacional con los datos nacionales. A partir de 2010 se asume que estará vigente a nivel nacional la nueva norma de emisiones para termoeléctricas lo cual debería asimilar las emisiones a los rangos mejores de los niveles internacionales, razón por la cual se tomó como referencia principal la fuente internacional [Em1]. En términos de emisiones directas, se atribuyó en el multicriterio un peso de 0,33 a cada sustancia, considerando que son igualmente importantes.

Tabla 3.1: Puntaje de acuerdo a rangos de emisiones kg/GWh

	Puntajes	1	2	3	4	5
SO2	kg/GWh	>700	700-500	500-200	200-45	45-0
NOx	kg/GWh	>500	500-320	320-150	150-40	40-0
Partículas	kg/GWh	>100	100-80	80-50	50-20	20-0

Los puntajes para cada tipo de fuente de energía de acuerdo a las emisiones locales, son los siguientes:

Tabla 3.2: Emisiones locales en Kg según GWh generados por fuente de energía

Fuente de	Tecnología	SO2	NOx	Partículas	Multicriterio	Ajustado
-----------	------------	-----	-----	------------	---------------	----------

energía	Considerada	kg/GWh	kg/GWh	kg/GWh	0,333 x C/U	
Eficiencia Energética	Múltiples	5	5	5	5¹	5
	Turbina de gas de ciclo abierto	2	1	2	1,666666667²	2
	CCGT (Turbina de gas de ciclo combinado)	4 [Em1]	2[Em1]	3 [EM1]	3	3
Gas natural	CCGT con CCS	3 [Em7]³	2[Em7]	3⁴	2.666	3
Petróleo	Motor Diesel	1 [Em1][Em2]	1 [Em1][Em2]	1 [Em1]	1	1
	Carbón Base	1 [Em1][Em2]	1 [Em1][Em2]	1[Em1]	1	1
	CP (Combustible pulverizado con desulfuración de los gases de escape)	1	1	1	1	1⁵
	CIF (Combustión de lecho fluido circulante)	1	1	1	1	1⁷
	CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada)	4 [Em1][Em5]	1 [EM1]	4 [Em1][Em5]	3	3
	CP con CCS (Captura y almacenamiento de carbón)	4 [Em7]	1 [Em7]	1⁶	4	4
Carbón	CCIG con CCS	3[Em7]	1[Em7]	4⁷	4.666	5
Energía nuclear	III +					
	IV	5 [Em1]	5 [Em1]	5 [Em1]	5	5
	Biomasa Base	4 [Em4]	1 [Em4]		2.5	
Biomasa	BIGCC	4 [Em1][Em6]	1 [Em1][Em6]	4[Em1]	3	3

¹ Este puntaje se justifica, utilizando como criterio que la eficiencia energética disminuye la presión sobre la matriz, por lo cual evita emisiones locales asociadas.

² Los valores fueron asignados considerando las emisiones de OCGT al menos un punto por debajo de CCGT, en cada substancia.

³ Este puntaje se justifica, considerando un efecto de disminución de SO2 similar al Carbón IGCC+CCS de la fuente [Em7]

⁴ Se considera un margen de emisión en este punto similar a CCGT (referencia [Em1])

⁵ El puntaje se justifica, considerando la misma emisión del carbón base.

⁶ Este puntaje se justifica, considerando una emisión similar en este punto al del carbón base (referencia [Em1]).

⁷ Este puntaje se justifica, considerando una emisión similar en este punto al del IGCC.

	Biomasa Co-combustión con Carbón	2,5	1	2,5	2⁸	2,5
CHP	CHP					
Energía eólica	Terrestre	5[Em1]	5[Em1]	5[Em1]	5	5
	Marítima	5[Em1]	4[Em1]	5[Em1]	4,666	5
Energía hidroeléctrica	Central de embalse	5[Em1]	5[Em1]	-	5	5
	Central de paso	5[Em1]	5[Em1]	-	5	5
	Central pequeña (<20MW)	5 [Em4]	4 [Em4]	-	4,5	5
Energía solar	Concentración Solar	4 [Em4]	4[Em4]	-	4	
	Fotovoltaica	4[Em1]	4[Em1]	4[Em1]	4	4
Geotermia	Hidrotérmica				4	4
	Vapor de roca	5 [Em4]	3[Em4]	-	4	4
Mareo Motriz	Tidal Barrage	5	5	5	5⁹	5
	Tidal Current	4 [Em3]	5 [Em3]	-	5	5
	Oleaje	4 [Em3]	4 [Em3]	-	4	4

Nota: en el caso de la energía mareomotriz se puso "5" porque se asume que no hay emisiones de esta tecnología.. En el caso de la EE se puso un "5" porque se asume que las tecnologías empleadas en este caso no generan emisiones y porque se disminuye la necesidad de generación y por tanto de emisión en la generación.

3.1.2 Uso de suelo

No existe mucha información para indicar el impacto comparado entre las fuentes de energía con respecto al uso de suelo. Es importante generar más estudios en estas líneas, que permitan tomar mejores decisiones.

Se recopilaron 9 fuentes bibliográficas. Se procedió a utilizar la bibliografía [HA2] como la más fehaciente, seguida por la [HA1], [HA4], [HA5], [HA7] y [HA8] para los casos en que no se cuenta con información.

	Puntaje	1	2	3	4	5
--	---------	---	---	---	---	---

⁸ Este puntaje se justifica asumiendo que las emisiones son menores a la combustión del carbón, pero mayores que las emisiones de la combustión de biomasa exclusiva. En el caso de las emisiones de NOx y So2, se estimó los puntajes promediando los puntajes entre carbón y biomasa base, y para el caso de PM10 se utilizó las emisiones relativas del BIGCC promediándolo con las de carbón base

⁹ Este puntaje se justifica, asumiendo que la construcción de la presa tiene semejantes características y efectos –en este punto- a la construcción de la presa de una hidroeléctrica de embalse

Uso de Suelo	km ² /MW	1,5<	1,5-0,25	0,25-0,05	0,05-0,010	0,010-0
--------------	---------------------	------	----------	-----------	------------	---------

Se consideró los siguientes puntajes:

Tabla 3.3: Puntaje de acuerdo a rangos de km²/MW

Los puntajes según el tipo de fuente de energía son los siguientes:

Tabla 3.4: Uso de Suelo según los MW generados por tipo de fuente de energía.

Fuentes de Energía	Tecnología Considerada	Uso de suelo
Eficiencia Energética	Múltiples	5 ¹⁰
Gas natural (GNL)	Turbina de gas de ciclo abierto	5 [HA8]
	CCGT (Turbina de gas de ciclo combinado)	
	CCGT con CCS	
Petróleo	Motor Diesel	5 [HA6]
Carbón	Carbón Base	2[HA7] ¹¹
	CP (Combustible pulverizado con desulfuración de los gases de escape)	2 ¹²
	CIF (Combustión de lecho fluido circulante)	2 ¹²
	CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada)	2 ¹²
	CP con CCS (Captura y almacenamiento de carbón)	2 ¹²
	CCIG con CCS	2
	Energía nuclear	III + IV

¹⁰ Este puntaje se justifica considerando que la eficiencia reduce la presión sobre la matriz energética, y por tanto amortigua indirectamente los efectos sobre el suelo.

¹¹ La fuente [HA7] considera la minería.

¹² Estos puntajes se justifican, considerando un efecto sobre el suelo similar al carbón base

Biomasa	Biomasa Base	1[HA1]	
	BIGCC	1[HA9]	
	Biomasa Co-combustión con Carbón	1[HA9]	
CHP	CHP		
Energía eólica	Terrestre	3[HA1]	3[HA1][HA2][1]
	Marítima	3[HA1]	
Energía hidroeléctrica²	Central de embalse	3 [HA2] [HA4]	
	Central de paso	4 ¹³	
	Central pequeña (<20MW)	5 [HA1]	
Energía solar	Concentración Solar	4[HA2]	
	Fotovoltaica	3[HA2] [HA5]	
Geotermia	Hidrotérmica	5[HA2]	
	Vapor de roca		
Mareo Motriz	Tidal Barrage	5 [HA2]	
	Tidal Current		
	Olas	4 [HA2]	

Notas: Para todos los casos, los puntajes son generados a partir del promedio de los valores de las tablas referenciales. La referencia [HA3], [HA6] y [HA9] tiene valores referidos a Wh, por lo que se estimo sus valores en términos referenciales a partir de la eficiencia de cada combustible según los valores recopilados en la hoja Tech del plan de obras. La referencia [HA4] fue ajustada a MWh a partir de valores recopilados en el SEIA e INGENDESA.

3.1.3 Consumo de agua

El consumo de agua por MWh instalado según la fuente de energía, varía considerablemente, y se genera de las más variadas formas, dependiendo de cada fuente energética.

Los puntajes relacionados con el consumo de agua en litros/MWh son los siguientes:

¹³ Este puntaje se justifica considerando que en comparación al embalse, los reservorios de la central de paso son muchísimo más pequeños..

Tabla 3.5: Puntaje de acuerdo a los rangos de L/MWh

Puntaje	1	2	3	4	5
Consumo de Agua (LITROS/MWh)	4500<	4500-1300	1300-700	700-350	350-0

Según la fuente de energía y de acuerdo a la bibliografía de referencia, los puntajes son los siguientes

Tabla 3.6: Consumo de agua en litros, según los MWh generados por tipo de fuente de energía

Fuentes de Energía	Tecnología Considerada	Consumo de Agua
Eficiencia Energética	Múltiples	5 ¹⁴
Gas natural (GNL)	Turbina de gas de ciclo abierto	2 ¹⁵
	CCGT (Turbina de gas de ciclo combinado)	4 [CA4]
	CCGT con CCS	2 ¹⁶
Petróleo	Motor Diesel	2 [CA2]
Carbón	Carbón Base	2[CA2][CA5]
	CP (Combustible pulverizado con desulfuración de los gases de escape)	2 ¹⁷
	CIF (Combustión de lecho fluido circulante)	2 ¹⁸
	CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada)	4 [CA1]
	CP con CCS (Captura y almacenamiento de carbón)	2 ¹⁹

¹⁴ Este puntaje se justifica puesto que reduce el consumo energético, y con ello evita el consumo de agua de las fuentes de energía.

¹⁶ El puntaje está referido al consumo de agua para un combustible fósil o biomasa utilizando un estanque o torres de enfriamiento (fuente [CA4])

^{6, 17 y 9} Los puntajes están referidos al consumo de agua para un combustible fósil o biomasa utilizando torres de enfriamiento (fuente [CA4])

¹⁹ Este puntaje se justifica considerando el enfriamiento por un sistema de enfriamiento de estanque o torres [CA4].

	CCIG con CCS	4^{20}
Energía nuclear	III +	2[CA2][CA5]
	IV	
Biomasa	Biomasa Base	1 [CA2][CA4] ²¹
	BIGCC	1 ²²
	Biomasa Co-combustión con Carbón	2 ²³
CHP	CHP	
Energía eólica	Terrestre	5 [CA1][CA2]
	Marítima	
Energía hidroeléctrica ²	Central de embalse	1 [CA3]
	Central de paso	4 ²⁴
	Central pequeña (<20MW)	5 ²⁵
Energía solar	Concentración Solar	2 [CA1]
	Fotovoltaica	5 [CA1]
Geotermia	Hidrotérmica	1[CA1]
	Vapor de roca	
Mareo Motriz	Tidal Barrage	5
	Tidal Current	5
	Olas	5 ²⁶

Nota: Para todos los casos, los puntajes son generados a partir del promedio de los valores de las tablas referenciales.

Según la bibliografía, las mejores alternativas en términos de consumo de agua son la energía solar fotovoltaica y la energía eólica, seguido por el gas natural.

²⁰ Este puntaje se justifica considerando un consumo de agua similar a IGCC

²¹ La fuente [CA2] presenta una diferencia notable con respecto al estudio relativo al de la EPRI ([CA4])

²² Este puntaje se justifica considerando lo intensivo en el consumo de agua por efecto del cultivo.

²³ El puntaje está referido al consumo de agua para un combustible fósil o biomasa usando un estanque de enfriamiento o torres de enfriamiento (fuente [CA4]), y considera una reducción importante en el consumo de agua por efecto de cultivo, al utilizar carbón.

²⁴ Este puntaje se justifica, asumiendo que un sistema de pasada consume menos agua, puesto que los reservorios o espejos de agua, correspondientes a este sistema, concentran un área comparativamente bastante menor a la central de embalse, lo que se traduce en una menor evaporación.

²⁵ No se considera ningún tipo de reservorio para este caso, por lo cual se justifica el máximo puntaje bajo este criterio.

²⁶ Para los tres casos de energía mareo motriz, se considera el máximo puntaje al tener una baja incidencia bajo el agua sobre la evaporación.

3.4 Innovación

Se evaluarán los posibles efectos que las opciones eléctricas consideradas tienen sobre el potencial de innovación del país (innovaciones radicales). Ello se hará construyendo un indicador que considera 2 dos niveles. En un nivel, se mira el nivel de desarrollo tecnológico a nivel internacional. De acuerdo al conocimiento internacional en la materia se acepta que a menor nivel de madurez tecnológica existen mayores oportunidades de participar activamente en el proceso de desarrollo tecnológico. Aceptando que existen tres amplios niveles en el ciclo de desarrollo de las tecnologías: Investigación y Desarrollo; Demostración y; Despliegue y Comercialización se otorgará una mayor ponderación a aquellas tecnologías que se encuentran en fases de desarrollo tecnológico más incipiente y menor a aquellas que se encuentran más maduras. La ponderación será la siguiente: fase I&D = 3; Fase Demostración: 2; Fase Despliegue y Comercialización 1.

En un segundo nivel, se evalúa si existe un rol para Chile para participar en el proceso de desarrollo tecnológico anterior, es decir, si existen capacidades nacionales efectivas para ser partícipes de éste. Esta evaluación será realizará a partir del número de proyectos de innovación o investigación para la tecnología en cuestión entrados en las bases de CORFO y CONICYT (ver Anexo 3). Un mayor número de proyectos indica un mayor nivel de capacidades nacionales para la innovación y por lo tanto, se le otorgará una mayor ponderación. La ponderación es la siguiente: igual o menor a 5 proyectos = 1; entre 6 y 11 proyectos = 2; igual o mayor a 12 proyectos = 3).

El nivel del potencial de innovación total se calcula en ponderación de los dos indicadores anteriores. Se otorgará una mayor ponderación (70%) al nivel de desarrollo internacional ya que es un dato más bien dado – muy difícil de afectar de forma endógena mientras que el indicador de capacidades nacionales es una variable que sí se puede afectar en el tiempo en forma endógena y por lo tanto se le otorgará una ponderación menor (30%).

Tabla 3.10: Potencial de Innovación

Fuentes de energía	Tecnología considerada	Desarrollo Tecnológico (A)	Ponderación	Capacidades Nacionales (B) (No proyectos)	Ponderación	Ponderación final A = 0.7 B = 0.3
Eficiencia Energética	Múltiples	Múltiples	3	11	2	2.7
Gas natural	Turbina de gas de ciclo abierto	Comercialización Inicios comercialización	1	40	3	1.6
	CCGT (Turbina de gas de ciclo combinado)		1			1.6
Petróleo	Motor Diesel	Comercialización	1	5	1	1
Carbón	CP (Combustible pulverizado con desulfuración de los gases de escape) (PCC - Pulverised coal combustión)	Comercialización	1	7	2	1.3
		Supercritical steam cycle: inicios comercialización	1			1.3
		Ultracritical steam cycle: I+D- demostración	2			2
	CIF (Combustión de lecho fluido circulante)	1	1.3			
	CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada)	Fines demostración comenzando comercialización	2			2
CCIG con CCS	CCS: R&D	3	2.7			
Energía nuclear	Reactor de agua ligera	Madura	1	3	1	1
Biomasa	Central combustión para generación?	Comercialización	1	51	3	1.6
	Combustión para CHP (lecho fluido)	Comercialización	1			1.6
	Co-combustion a carbon	Comercialización	1			1.6
	BIGCC	Demostración	2			2.3
	Gasificación para CHP	Demostración/Comercialización				

	usando motor a gas		2			2.3
	Pirolisis-bio-oil	Demostración	2			2.3
Energía eólica	Terrestre	Comercialización	1	12	3	1.6
	Marítima	Demostración	1			1.6
Energía hidroeléctrica	Central grande	Comercialización	1	2	1	1
	Central pequeña	Comercialización				1
Energía solar	CSP Parabólico/Trough	Inicios comercialización	1	5		1
	CSP Receptor Central	Demostración	2			1.7
	CSP –Disco Stirling	Prototipo-Demostración	2			1.7
	Fotovoltaica - Silicio	Comercial	1	1	1	
	Fotovoltaica -Lamina Delgada	Demostración inicios comercialización	2		1.7	
Fotovoltaica nanocrystalinas/orgánicas	I&D	3	2.4			
Geotermia	Binary Cycle Plant	Comercialización	1	3	1	1
	Flash Steam Plant					1
	Dry Steam Plant					1

Fuente: IEA 2008; Fundación Chile (2008)

4 Las Variables Técnicas Cualitativas Importantes

4.3 Biodiversidad y otros efectos ambientales

Si hay un porcentaje más allá del 30% de participación de alguna fuente a nivel nacional, más del 30% de energía proveniente de alguna de las regiones chilenas, centrales de un tamaño de más allá de 1000MW, y/o 10% de energía proveniente de áreas actualmente lejanas a las líneas de transmisión, se deben mencionar los siguientes aspectos y su manejo:

4.1.1 Transmisión

La construcción de redes de transmisión nuevas implica un costo adicional, en algunos casos no sólo a nivel económico sino también a nivel ambiental. Una alternativa es generación distribuida, lo cual debería ser mencionado ya que también tiene consecuencias importantes para la planificación / infraestructura energética.

4.1.2 La biodiversidad

La biodiversidad es un tema de carácter sumamente local. Efectos pueden ser derivados de una gran cantidad de contextos, incluyendo la construcción de caminos, la intervención En general, aunque los efectos pueden ser proporcionales a la cantidad de espacio involucrado, los efectos dependen finalmente en gran parte del carácter del territorio implicado. Es muy distinto si se trata de la conversión de terrenos agrícolas, forestales, desérticos, urbanos, o marítimos.

En este aspecto los temas más relevantes que surgen de la tecnología usada y de la geografía y lugar deben ser mencionados.

4.1.3 Los caudales de ríos

La alteración de los ríos en el caso de las hidroeléctricas grandes. Para evitar estos efectos, la legislación chilena introdujo el concepto de caudal ecológico. En el marco de varios EIA de proyectos hidroeléctricos chilenos ha habido discusiones sobre los efectos ambientales de las alteraciones provocadas.

4.1.4 Accidentes Radiológicos

Los riesgos de un posible accidente radiológico así como el manejo de los desechos radioactivos en el caso de la energía nuclear. Si se analizan los riesgos desde un punto de vista de probabilidad de ocurrencia, los accidentes son poco probables, pero de suceder pueden tener efectos catastróficos. Hay documentados una veintena de accidentes nucleares civiles en las últimas cuatro décadas, con grados de peligrosidad desde “anomalías” hasta “accidentes graves” de acuerdo a la *“Escala Internacional de*

*Accidentes Nucleares (INES)*²⁷. El accidente más grave hasta ahora, fue el caso de la central nuclear de Chernobyl en Ucrania, en 1986, que liberó grandes cantidades de material radiactivo a la atmósfera, extendiéndose la pluma por la mayor parte de Europa. Los residuos generados por las plantas nucleares son de aproximadamente 500 kg/año por cada 1000 MW instalado, en el caso de un ciclo cerrado y en caso de un ciclo abierto, de 15ton/año por cada 1000 MW, siendo esto una diferencia significativa. Estos residuos deben manejarse aislados por miles de años con requerimientos de depósito seguro y definitivo, en lo posible alejado de toda comunidad humana, en terrenos libres de terremotos, y con suelos sin filtraciones de agua.

4.1.5 Otros efectos ambientales

Hay una serie de efectos ambientales que a nivel global se podrían considerar menos relevantes que los antes mencionados, pero que en ocasiones pueden ser significativos a nivel local. Pueden mencionarse efectos del uso de agua de refrigeración en termoeléctricas, incluyendo la generación solar térmica, y plantas nucleares; cambios climáticos locales debido a centrales hidroeléctricas de embalse; contaminación de agua debido a centrales geotérmicas; y ruido ligado a instalaciones eólicas.

Finalmente, se deben señalar las propuestas para la mitigación de los efectos en cada caso.

4.4 Desarrollo local y empleo generado

El potencial efecto sobre el desarrollo de las economías locales es una variable importante a considerar al momento de evaluar los impactos de un escenario eléctrico dado.

El potencial de dinamizar la economía local se debe analizar considerando toda la cadena de valor de la tecnología en cuestión. En un nivel básico esto incluye temas como la producción de la materia prima para ser utilizada como fuente energética, temas de logística/transporte de ésta, así como los requerimientos en términos de mantenimiento de la tecnología, por ejemplo, servicios especializados y suministro de

²⁷ La Escala Internacional de Accidentes Nucleares (más conocida por sus siglas en inglés, **INES**) fue introducida por la [OIEA](#) para permitir la comunicación sin falta de información importante de seguridad en caso de [accidentes nucleares](#) y facilitar el conocimiento de los medios de comunicación y la población de su importancia en materia de seguridad.

partes y piezas y, en el mejor de los casos si somos capaces de proveer la tecnología completa y no importarla. Ejemplos en ese sentido podrían incluir:

En el caso de centrales a carbón o gas natural, el potencial de producción y suministro de la materia prima en forma local (aunque hoy en día en su mayoría son importadas)²⁸ o bien el potencial para ofrecer servicios de mantención, servicios ambientales vinculados a restricciones en las emisiones en el caso de futuras normas de emisión, sólo por dar algunos ejemplos.

En el caso de energías renovables como hidroeléctricas, energía solar, eólica o de los océanos el tema del aporte al desarrollo local en la producción y suministro de la materia prima es más bien irrelevante pues las fuentes energéticas son dadas localmente en forma natural. No obstante temas en términos de capacidad de dar servicios de mantención y oferta de partes y piezas son importantes. Por ejemplo, la existencia de un tejido industrial capacitado para ofrecer este tipo de bienes y servicios es importante. Se sabe que existen hoy unos primeros esfuerzos en vincular al PTI metalmecánico de la VIII Región a la producción de partes y piezas de algunas energías renovables (ej. turbinas y compuertas mini-hidro). En temas de almacenamiento, tema clave para energías renovables como solar y eólica, la existencia de materias primas como nitratos y sales (ej litio) es relevante por su potencial de aporte al desarrollo local.

Por otro lado, en el caso de tecnologías de energías renovables en base a biomasa, el tema de producción de insumos (como fuentes energéticas) y el tema de la logística poseen un potencial importante de afectar el desarrollo local, especialmente cuando se trata de cultivos especialmente dedicados con este fin.

En un nivel mas elevado, podría haber casos de potencial de proveer la tecnología completa o bien de convertirse en exportador de bienes y servicios asociados a la tecnología.

Asimismo, parte del empleo creado también es importante considerarlo en términos de desarrollo local. Diversos estudios analizan los efectos en el empleo en distintos aspectos tales como el de empleo directo, indirecto, de corto plazo en la fase de

²⁸ De acuerdo a la CNE, de sus necesidades totales Chile importa el 98% del petróleo, 92% del carbón y 74% del gas natural)

construcción, empleo de mediano y largo plazo en la fase de operación. Cada uno de los estudios analizados, utilizan una amplia gama de métodos, lo que añade credibilidad a los resultados, pero al mismo tiempo hace muy difícil una comparación directa con los otros estudios. La tabla siguiente muestra las referencias bibliográficas mencionadas en cada caso entre paréntesis, cuyos valores se pueden apreciar en el anexo 2..

Tabla 4.1: Trabajo creado según fuente de energía

Fuente de energía	Tecnología Considerada	Trabajos directos			
		Construcción, instalación y manufactura		Operación y Mantenimiento	
Eficiencia Energética	Múltiples	[E1]			
Gas natural	Turbina de gas de ciclo abierto	[E13]			
	CCGT (Turbina de gas de ciclo combinado)	[E13]	[E2][E7][E8][E10]	[E13]	[E2][E7][E8][E10] ²⁹
	CCGT con CCS				
Petróleo	Motor Diesel	[E13]		[E13]	
Carbón	Carbón Base	[E2][E7]		[E2][E7]	
	CP (Combustible pulverizado con desulfuración de los gases de escape)	[E13]		[E13] ³⁰	
	CIF (Combustión de lecho fluido circulante)				
	CCGI (Ciclo combinado con gasificación integrada)				

²⁹ No se consideró [E2] por agregar trabajos en el proceso del combustible gas, ya que para el caso chileno no se cuenta con fuentes explotables de este recurso.

³⁰ No incluye el trabajo generado por el proceso del combustible como en el caso [E2]

	CP con CCS (Captura y almacenamiento de carbón)				
	CCIG con CCS				
Energía nuclear	III +				
	IV		[E7]		[E7]
Biomasa	Biomasa Base		[E1][E6][E2]		[E1][E6][E2][E7][E9]
	BIGCC				
	Biomasa Co-combustión con Carbón				
CHP	CHP				
Energía eólica	Terrestre	[E1]	[E2][E6][E7][E8]	[E1]	[E1][E2][E6][E7][E8][E9]
	Marítima	[E1]	[E9] [E11]	[E1]	[E11]
Energía hidroeléctrica²	Central de embalse		[E1][E12]		[E1][E12]
	Central de paso		[E12]		[E12]
	Central pequeña (<20MW)		[E1][E6][E12]		[E1][E6][E12]
Energía solar	Concentración Solar		[E6][E7]		[E6][E7]
	Fotovoltaica		[E2][E6][E7][E8][E9][E10]		[E2][E6][E7][E8][E9][E10]
Geotermia	Hidrotérmica				
	Vapor de roca		[E1][E6][E8]		[E1][E6][E8]
Mareo Motriz	Tidal Barrage		SIN INFO		SIN INFO
	Tidal Current		SIN INFO		[E14]
	Olas		SIN INFO		SIN INFO

Nota: En la mayoría de los estudios de donde provienen las tablas de referencia, se tratan los trabajos creados sin diferenciarlos según la tecnología empleada en cada tipo de fuente de energía. Es por ello que sólo salen referencias en la fuente de energía “base”, o en la extensión de las tecnologías en cada tipo de fuente de energía. Para el caso de la Mareo Motriz, se encontró sólo una referencia. Esto puede deberse a que es una tecnología que aún se encuentra en fase demostrativa. Además, es importante subrayar que en O&M de [E2] se incluye la extracción de combustibles como gas, carbón y petróleo. La referencia [E3], [E4] y [E5] no integradas a la tabla anterior, considera valores de trabajos directos e indirectos. Se debe tener

en cuenta también que mucha de la tecnología (asociado al trabajo por manufactura) es importada de mercados extranjeros. En este sentido, algunos de los valores señalados por la bibliografía citada son ambiguos, donde no se especifica claramente si consideraron el trabajos de manufactura como trabajos directos (ciertamente depende del modelo de análisis y el contexto del país de donde proviene el estudio).

La tabla anterior será utilizada para identificar cualitativamente los efectos en términos de impactos laborales en un escenario particular.

5 Referencias

(Se pueden añadir otras fuentes a esta lista siempre que queden claramente referenciadas:)

Borregaard y Katz (2008) *Opciones para la Matriz Energética Eléctrica: Insumos para la Discusión*, Fundación Futuro Latinoamericano, Fundación AVINA

Fundación Chile (2008) *Tendencias Tecnológicas y Oportunidades para Chile en Energía Renovables No Convencionales –Insumos para la Discusión -*, Fundación Chile

IEA 2008a *World Energy Outlook 2008*, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, ISBN: 978-92-64-04560-6, 2008. weo@iea.org.

IEA 2008b *Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios & strategies to 2050*, International Energy Agency (IEA), OECD/IEA, ISBN: 92-64-04142-4, 2008.

IPCC 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006, Volume 2: Energy, Chapter 1: Introduction*, UNFCCC, 2006.

IPCC 2005 *Carbón Dioxide Capture and Storage*, IPCC Special Report, Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ISBN-13 978-0-521-86643-9, 2005.

NEA/IEA 2005 *Projected Costs of Generating Electricity 2005 Update*, Nuclear Energy Agency (NEA)-International Energy Agency (IEA)-Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), ISBN 92-64-00826-8, 2005.

Molina, J., Martínez, V., Rudnick, H., *Indicadores de Seguridad Energética: Aplicación al Sector Energético de Chile*, 2nd Latin American Meeting on Energy Economics, Santiago, Chile, Marzo 2009

REN21 2007 *Renewable 2007 Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), www.ren21.net, 2007.

UNFCCC/CCNUCC 2008 *Tool to calculate the emission factor for an electricity system*, UNFCCC/CCNUCC, CDM Executive Board, EB 35 Report, Annex 12, version 01.1, 2008.

WEC (2004) *Comparación de los Sistemas Energéticos Utilizando Evaluación de Ciclo de Vida*, Consejo Mundial de la Energía.

Kammen, D.M., Kapadia, K., Fripp, M. 2006. *Putting Renewables to Work: How many jobs can the clean energy industry generate?* Report of the Renewable and Appropriate Energy Laboratory, University of California, Berkeley. Disponible en Web: rael.berkeley.edu/old-site/renewables.jobs.2006.pdf

AGAMA. 2003. *Employment Potential of Renewable Energy in South Africa*. Prepared for The Sustainable Energy and Climate Change Partnership Johannesburg. Disponible en Web: reeep-sa.org/wirec/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=3&Itemid=7

Calzada, G., Merino, R. y Rallo J. 2009. *Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources*. Universidad Rey Juan Carlos. Disponible en Web: www.juandemariana.org/pdf/090327-employment-public-aid-renewable.pdf

Green Peace. 2008. *Employment Impacts of Alternative Energy Sources*. Tabla facilitada por Pollin, R. y Garrett-Peltier, H., University of Massachusetts Political Economy Research Institute and Center for American Progress. Disponible en Web: <http://www.greenpeace.org/usa/assets/binaries/green-job-creation-table>

Electric Power Research Institute. 2001. *California Renewable Technology Market and Benefits Assessment*. Technical Report. Prepared for the California Energy Commission (CEC). Disponible en Web: <http://mydocs.epri.com/docs/public/000000000001001193.pdf>

Heavner, B., Churchill, S. 2002. *Renewables Work: Job Growth from Renewable Energy Development in California*, CALPIRG, June 2002. Disponible en Web: http://www.environmentcalifornia.org/uploads/Gg/7m/Gg7mP2qpr4ZGj0deZnKlZQ/Renewables_Work.pdf

Keith, G, Biewald, B., White, D., Sommer, A., y Chen, C. 2003. *Cleaner Air, Fuel Diversity and High-Quality Jobs: Reviewing Selected Potential Benefits of an RPS in New York State*. Synapse Energy Economics. REPP Job Calculator Employment Rates in Nevada by Technology (jobs/MW). Disponible en <http://www.synapse-energy.com/Downloads/SynapseReport.2003-07.NRDC-RETEC.NY-RPS-Benefit-Analysis.03-23.pdf>

Apollo Alliance y Urban Habitat (2007). *Community Jobs in the Green Economy*. Disponible en Web: http://www.apolloalliance.org/downloads/resources_Community_Jobs_in_the_Green_Economy.pdf

Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Disponible en Web: www.e-seia.cl

World Energy Council. 2004. *Comparison of Energy Systems using Life Cycle Assessment (2004)*. A Special Report of the World Energy Council. Disponible en Web: <http://www.worldenergy.org/documents/lca2.pdf>

ENDESA (2006). *Informe de Sostenibilidad 2006*. Firma Gráfica.

Irizarry, A., Colucci, J. y O'Neill, E. 2008. *Achievable Renewable Energy Targets For Puerto Rico's Renewable Energy Portfolio Standard*. Final Report. Disponible en Web: www.uprm.edu/aret/docs/ARET_for_PR_RPS.pdf

Jacobson, M. 2008. *Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security*. Energy & Environmental Science, 2, 148–173.

+Scientific and Technological References
Energy Technology Indicators, September 2002

Wichlacz, P. 2008. *Energy and Water. A science and Technology Perspective*. Presentation. Council for Chemical Research. 30 th. Anniversary Meeting. June 4, 2008. Paul Wichlacz. Idaho National Laboratory. Idaho Water Resources Research Institute (IWRRI) [www.ccrhq.org/userfiles/file/publications/am09/Wichlacz-EWN\(1\).pdf](http://www.ccrhq.org/userfiles/file/publications/am09/Wichlacz-EWN(1).pdf)

Chaly, J. 2008. *Role & Potential of Renewables in Climate Change mitigation*. Disponible en Web; climatechange08.wisein.org/CCI_08_Presentation/Day_2/Joseph%20chaly.pdf

P. Torcellini, N. Long, and R. Judkoff 2003. *Consumptive Water Use for U.S. Power Production*. National Renewable Energy Laboratory. Disponible en Web: www.nrel.gov/docs/fy04osti/33905.pdf

EPRI Project Managers R. Goldstein W. Smith (2002). *Water & Sustainability (Volume 3): U.S. Water Consumption for Power Production - The Next Half Century*. Disponible en Web: mydocs.epri.com/docs/public/000000000001006786.pdf

Texas Water Development Board (2003). *Power generation water use in Texas for the years 2000 through 2060*. Final report. Disponible en Web: http://www.twdb.state.tx.us/rwpg/rpgm_rpts/2001483396.pdf

Ainsworth, D., Thake, J. and Marine Current Turbines Ltd. 2006. *Final Report on Preliminary Works Associated with 1MW Tidal Turbine*. Project Reference. Disponible en Web: [www.pstidalenergy.org/Tidal Energy Projects/Misc/Econ Viability Tidal Energy-Feb 2007.pdf](http://www.pstidalenergy.org/Tidal_Energy_Projects/Misc/Econ_Viability_Tidal_Energy_Feb_2007.pdf)

Tampier, M. 2002. Promoting Green Power in Canada. Green Power Policies: A Look Across Borders. Pollution Probe. Disponible en Web: www.pollutionprobe.org/Reports/greenpower.pdf

UNEP. 2000. *Sustainable energy*. Industry and Environmental. Volume 23. No.3. Disponible en PDF en: <http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>

Klapp, J., Cervantes-Cota, J. and Chávez-Alcalá, J. 2007. *Towards a Cleaner Plant: Energy for the Future*. Springer Ed. 354: 419p.

Denholm, P. 2006. *Improving the technical, environmental and social performance of wind energy systems using biomass-based energy storage*. Renewable Energy 31 (2006) 1355–1370. Elsevier. Science Direct.

Ghergheles, C. and Ghergheles, V. 2008. BIOENERGY – ENVIRONMENTAL BENEFITS AND IMPACTS. Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului Vol XIII. Disponible en formato PDF en Web: protmed.uoradea.ro/.../protectia_mediului/2008/im/Ghergheles.pdf

Boyd, R., Sproule, A., Benyon, P., Grima, C., Naicker, K., Ward, P., Feltrin, C. 2007. *NSW Power Generation and CO2 Emissions Reduction Technology Options*. Report to the Owen Inquiry into Electricity Supply in NSW. Connell Wagner PTY. Ltda. Disponible en PDF en Web: http://www.dpc.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0020/12881/expertrep1connellwagner.pdf

IPCC. 2005. IPCC special report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L.A. Meyer (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp. Disponible en formato PDF en Web: www.ipcc.ch

Grabbe, M., Lundin, U. and Leijon, M. S.A. *Ocean Energy: Marien Current and Wave*. WP3 Report. Department of Electricity and Lightning Research. Department of Electricity

and Lightning Research Uppsala University. Disponible en formato PDF en www.eusustel.be/.../WP3/WP3%20report%20-%20Marine%20Currents%20and%20Wave.pdf

REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. *Renewables 2005 Global Status Report*. Washington, DC. Disponible en PDF en Web: <http://www.ren21.net/>

The Pembina Institute. 2008. *Estimating the Non-Air Environmental: Benefits of Renewable Power Sources*. Commission for Environmental Cooperation. Disponible en PDF en Web: [www.cec.org/.../QA_07-43 NP Non-air benefits of RE power sources en.pdf](http://www.cec.org/.../QA_07-43_NP_Non-air_benefits_of_RE_power_sources_en.pdf)

6 Anexos

Anexo 1: Planilla Evaluación Escenario (ver archivo adjunto)

Anexo 2: Tabla Referencias Generación de empleo, consumo de agua, emisiones locales y uso de suelo

Anexo 2: Resumen proyectos entrados bases de CORFO y CONICYT