



Proceso de Planificación Energética de Largo Plazo

Plan de Trabajo

Ministerio de Energía

06/02/2017



Tabla de contenido

1	Antecedentes	4
2	Cronograma del proceso	6
2.1	Etapa informe preliminar	6
2.2	Etapa evaluación ambiental estratégica	7
2.3	Informe final y decreto de planificación	7
3	Descripción de etapas del proceso	8
3.1	Informe preliminar	8
3.2	Evaluación Ambiental Estratégica	11
3.3	Informe final y decreto de planificación	12
4	Metodología de planificación.....	13
4.1	Definiciones de planificación.....	14
4.2	Modelo de proyección de demanda energética	15
4.3	Metodología de proyección de oferta energética	19
4.4	Modelo de planificación eléctrica	20
4.5	Metodología de construcción y selección de Escenarios.....	23
4.6	Metodología de identificación de potenciales zonas de generación.....	25
5	Consideraciones varias y parámetros de entrada.....	28
5.1	Generación distribuida.....	28
5.2	Intercambios internacionales de energía.....	30
5.3	Políticas medio ambientales que tengan incidencia	30
5.4	Objetivos de eficiencia energética	31
5.5	Planes estratégicos con los que cuenten las regiones en materia de energía.....	32
5.6	Consideraciones adicionales	33
5.6.1	Proyecciones de costos de inversión de tecnologías de generación eléctrica	33



5.6.2	Proyecciones de costos de Combustible	35
5.6.3	Efectos de cambio climático.....	35



1 Antecedentes

Conforme a lo dispuesto en el artículo 83° de la Ley General de Servicios Eléctricos, modificado por la Ley N° 20.936¹, el Ministerio de Energía cada cinco años, deberá desarrollar un proceso de **Planificación Energética de Largo Plazo** para los distintos escenarios energéticos de expansión de la generación y del consumo, en un horizonte de al menos treinta años, de modo que éstos escenarios sean considerados en la planificación de los sistemas de transmisión eléctrica que llevará a cabo la Comisión Nacional de Energía, según indica la misma Ley.

Según lo establecido en el artículo noveno transitorio de la Ley N° 20.936, el Ministerio de Energía debe dar inicio al proceso de Planificación Energética de Largo Plazo dentro de los noventa días siguientes a la publicación de la mencionada Ley, siendo esta fecha el pasado día 20 de Octubre de 2016. Este día y conforme a lo dispuesto en el artículo 84° de la Ley General de Servicios Eléctricos, modificado por la ley N° 20.936, el Ministerio de Energía abrió un registro de participación ciudadana en el que se pudo inscribir toda persona natural o jurídica con interés en participar en el proceso. El proceso de apertura del Registro de Participación Ciudadana se estableció en la Resolución Exenta N°18 del Ministerio de Energía, estableciendo sus plazos y condiciones.

Entre los días 20 de octubre y 14 de noviembre de 2016 estuvo abierta la plataforma web para la inscripción en el registro de participación ciudadana. Posteriormente, el Ministerio de Energía revisó los antecedentes presentados por los solicitantes entre los días 15 y 22 de noviembre de 2016, para que entre los días 23 y 29 de noviembre los solicitantes respectivos pudiesen subsanar la falta o corrección de información según correspondiera. La Resolución Exenta N° 26 del 2016 aprobó el registro de participación ciudadana del proceso de planificación energética de largo plazo.

Las personas naturales y jurídicas inscritas en el registro de participación ciudadana tendrán derecho a:

- a) Recibir por correo electrónico de parte del Ministerio las notificaciones de las etapas e hitos del proceso de planificación.

¹ El 20 de julio de 2016 se publicó en el diario oficial la ley N° 20.936, que establece un nuevo sistema de transmisión eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional, introduciendo diversas modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos.



- b) Participar en la audiencia pública convocada por el Ministerio a efectos de exponer el Plan de Trabajo del proceso de planificación, realizar observaciones al mismo y acompañar los antecedentes o la información que estimen pertinente para el adecuado desarrollo del proceso de Planificación y para la identificación de los potenciales Polos de Desarrollo de Generación Eléctrica.
- c) Participar en audiencias que pudiese convocar el Ministerio para presentar avances del Proceso de Planificación y realizar observaciones a lo presentado en ellas en los plazos y condiciones que defina el Ministerio.
- d) Realizar observaciones al informe preliminar del proceso de planificación.
- e) Participar en la audiencia pública convocada por el Ministerio a efectos de exponer los resultados del informe final del proceso de planificación.
- f) Realizar observaciones al informe final del proceso de planificación.

El presente documento se enmarca dentro del vigente proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, y corresponde a la presentación y descripción del **Plan de Trabajo** que el Ministerio de Energía seguirá a lo largo de este, para alcanzar así los objetivos y productos planteados. Según lo anterior, este Plan de Trabajo solamente será aplicable al proceso de Planificación Energética de Largo Plazo iniciado en el año 2016, sin tener necesariamente alguna incidencia en posteriores procesos.



2 Cronograma del proceso

El proceso de Planificación Energética de Largo Plazo constará de diversos hitos que se pueden agrupar en tres principales etapas:

1. Informe preliminar
2. Evaluación Ambiental Estratégica
3. Informe final y Decreto de Planificación.

Cabe señalar que para efectos del desarrollo del proceso de planificación, el Ministerio podrá requerir de otros ministerios, servicios públicos, entidades que el Estado tenga aportes de capital, participación o representación, del Coordinador, de las entidades y empresas vinculadas directa o indirectamente al sector energía y de los usuarios no sujetos a regulación de precios, los antecedentes y la información que estime necesaria, la que deberá ser entregada en la forma y plazo que el Ministerio establezca para dichos efectos.

A continuación se describen los principales hitos de cada etapa del proceso:

2.1 Etapa informe preliminar

1. Período de inscripción en registro de participación ciudadana – *20 de Octubre de 2016 al 14 de Noviembre de 2016*
2. Revisión de antecedentes presentados para inscripción en registro de participación ciudadana – *15 de Noviembre de 2016 al 21 de Noviembre de 2016*
3. Presentación de antecedentes corregidos por parte de interesados para inscripción en registro de participación ciudadana - *22 de Noviembre de 2016 al 29 de Noviembre de 2016*
4. Audiencia pública para presentación de plan de trabajo – *5 de Diciembre de 2016*
5. Periodo de observaciones al plan de trabajo y aporte de antecedentes al proceso de Planificación Energética de Largo Plazo – *5 de Diciembre de 2016 al 13 de Enero de 2017*
6. Publicación de plan de trabajo definitivo – *3 de Febrero de 2017*
7. Audiencia Intermedia de avances en la planificación – *Mayo 2017*
8. Presentación informe preliminar - *20 de Junio de 2017*
9. Observaciones al informe preliminar – *21 de Junio de 2017 al 19 de Julio de 2017*
10. Publicación de observaciones al informe preliminar – *21 de Julio de 2017*
11. Publicación de informe preliminar definitivo – *Agosto de 2017*



2.2 Etapa evaluación ambiental estratégica

Solo en caso de que se determinen potenciales polos de desarrollo, se llevará a cabo un proceso de Evaluación Ambiental Estratégica de estos, de acuerdo a lo establecido en el artículo 85° de la Ley General de Servicios Eléctricos: *“el Ministerio deberá desarrollar un Informe Técnico por cada polo de desarrollo, que especifique una o más zonas que cumplan con lo prescrito en el inciso anterior, distinguiendo cada tipo de fuente de generación. Para estos efectos y antes de la emisión del señalado informe, el Ministerio deberá desarrollar una evaluación ambiental estratégica en cada provincia o provincias donde se encuentren uno o más polos de desarrollo, conforme a lo establecido en el Párrafo 1° bis del Título II de la ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente”.*

- Inicio Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) para Polos de Desarrollo – *Entre Junio y Julio de 2017*
- Consulta pública de informe ambiental y del anteproyecto del informe técnico de polos de desarrollo – *Primer Semestre 2018*
- Resolución de término EAE – *Primer Semestre de 2018*

Cabe señalar que el proceso de EAE se llevará a cabo según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación Ambiental Estratégica (Decreto N°32 del 17 de Agosto de 2015, del Ministerio de Medio Ambiente) por lo que los plazos indicados en este documento son referenciales y deben ajustarse a lo indicado por el reglamento respectivo.

2.3 Informe final y decreto de planificación

- Emisión anteproyecto informe técnico para cada polo de desarrollo – *Segundo Semestre de 2018*
- Emisión informe técnico para cada polo de desarrollo – *Segundo Semestre de 2018*
- Emisión informe final, con antecedentes de respaldo – *Segundo Semestre de 2018*
- Audiencia pública de presentación informe final – *Segundo Semestre de 2018*
- observaciones al informe final – *Segundo Semestre de 2018*
- Publicación informe final corregido – *Segundo Semestre de 2018*
- Dictación de decreto de planificación energética – *Segundo Semestre de 2018*



3 Descripción de etapas del proceso

En esta sección se procede a detallar el contenido y los productos de cada una de las etapas del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo que llevará a cabo el Ministerio de Energía.

3.1 Informe preliminar

El Informe Preliminar es el primer producto que emanará del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, en el cual se definirán las proyecciones de oferta y demanda energética y los Escenarios Energéticos preliminares, indicando, si existieran, sus potenciales Polos de Desarrollo de Generación Eléctrica.

Los contenidos específicos del documento de Informe Preliminar serán los siguientes:

1. Aspectos metodológicos

Se detallarán todos los aspectos metodológicos empleados en el proceso de Planificación, en base a lo presentado en este Plan de Trabajo, indicando las herramientas computacionales utilizadas, las fuentes de información, el detalle de las modelaciones y simulaciones realizadas para su reproducción, entre otros aspectos.

2. Criterios para la definición de zonas potenciales de generación eléctrica renovable

Se entregarán las fuentes de información y supuestos empleados en el marco de la metodología para el levantamiento de los potenciales de generación eléctrica a lo largo del país, mediante fuentes de energías renovables.

3. Descripción de la situación para el año base

Se detallará la situación actual en cuanto a diversos aspectos y variables del modelo, tales como configuración del parque de generación eléctrica, demanda energética, oferta energética, entre otros.

4. Descripción de supuestos propios de cada escenario energético preliminar

Cada escenario preliminar considerado en el proceso tendrá diversos supuestos de variables relevantes, los que tendrán impacto en cuanto a demanda energética (ej. crecimiento económico), oferta de generación eléctrica (costos de inversión, operación y mantenimiento de tecnologías, disponibilidad de recursos energéticos, etc.), entre otros. Los componentes de cada escenario se describen en el capítulo respectivo del presente documento.



5. **Proyección de demanda energética**

Para cada escenario se definirá una demanda energética específica. Esta, tal como se detalla en el capítulo respectivo del presente Plan de Trabajo, no solo considera demanda eléctrica sino que también la de todos los energéticos considerados en el Balance Nacional de Energía. En el Informe se entregarán las proyecciones respectivas para todos los años del horizonte de estudio (30 años). Sin embargo, cabe señalar que en el modelo de planificación eléctrica se utilizará el consumo eléctrico de la demanda energética obtenida, la cual se considerará para cada barra de consumo en el sistema modelado. A su vez, cabe señalar, que las proyecciones de demanda energética podrán considerar la aplicación de diversas medidas de Eficiencia Energética, tal como se detalla posteriormente en este documento.

6. **Plan de obras de generación eléctrica**

Cada escenario estará acompañado de un plan de obras recomendado de generación que permite abastecer la demanda proyectada del sistema, según el modelo de planificación centralizado². Este plan de obras recomendadas indicará la capacidad instalada por cada tecnología de generación eléctrica considerada en la evaluación para cada año del horizonte de estudio, y en cada barra modelada del sistema eléctrico (ej. X capacidad de cierta tecnología, en el año Y, y en la barra Z).

7. **Potenciales polos de desarrollo de generación eléctrica**

Para cada plan de obras recomendado de generación eléctrica que se obtenga en cada escenario, el Ministerio de Energía definirá cuales de las zonas de este plan, corresponderán a potenciales polos de desarrollo. Dado esto, el plan de obras de generación eléctrica tendrá zonas definidas como “recomendadas” y otras como “polos de desarrollo”, en caso de que estas últimas existiesen.

Para cada potencial polo de desarrollo, se especificará a lo menos su potencial recomendado a instalar, características del recurso energético (pudiendo estar compuestos de más de una tecnología), localización y punto de conexión.

Cabe señalar que es posible que existan escenarios energéticos preliminares que no incluyan potenciales polos de desarrollo, los cuales se entienden en la Ley como “aquellas zonas territorialmente identificables en el país, ubicadas en las regiones en las que se

² Cabe señalar que este plan de obras es una recomendación que realiza el modelo en base a ciertos criterios y parámetros que son ingresados en este (demanda eléctrica, costos, etc.).



emplaza el Sistema Eléctrico Nacional, donde existen recursos para la producción de energía eléctrica proveniente de energías renovables, cuyo aprovechamiento por su aprovechamiento utilizando un único sistema de transmisión no resulta de interés público por no ser eficiente económicamente para el suministro eléctrico o no cumple con la legislación ambiental y de ordenamiento territorial.

8. Escenarios de respaldo

Para cada escenario preliminar que cuente en su respectivo plan de obras con zonas de generación eléctrica determinadas como polos de desarrollo, se definirá un “Escenario de Respaldo”, en el cual esas mismas zonas se reclasificarán como zonas recomendadas, teniendo la misma categoría que el resto del plan de obras. Esto quiere decir que tendrá los mismos supuestos, consideraciones y capacidad instalada que el primero salvo que no incluirá el o los potenciales polos de desarrollo identificados.

9. Criterios de selección de escenarios

Para la selección de los escenarios energéticos preliminares se utilizarán criterios de modo que las soluciones sean óptimas, al menos desde el punto de vista técnico, económico, y resilientes frente a distintas modificaciones de las variables modeladas. En este sentido, cabe mencionar que el modelo de planificación eléctrica considerará, para cada escenario, la obtención de planes de obras óptimos desde el punto de vista económico y técnico. A los cuales, tal como se detalla en el presente documento, se les aplicará un análisis de operación en el sistema eléctrico en el largo y corto plazo, comprobando la resiliencia del plan respectivo.

10. Emisiones de gases de efecto invernadero

Para cada escenario se calcularán las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la generación eléctrica y el consumo de energía final en el país.

11. Análisis de sensibilidad

Para cada escenario se realizará un análisis de sensibilidad frente a las variaciones o cambios de distintas variables que el Ministerio estime conveniente, indicando el impacto que tienen estos en el plan de obras recomendadas que se obtiene.



3.2 Evaluación Ambiental Estratégica

Tal como establece la Ley, *“El Ministerio deberá elaborar un Informe Técnico por cada polo de desarrollo, que especifique una o más zonas que cumplan con lo prescrito en el inciso anterior, distinguiendo cada tipo de fuente de generación. Para estos efectos y antes de la emisión del señalado informe, el Ministerio deberá realizar una evaluación ambiental estratégica, en cada provincia o provincias donde se encuentren uno o más polos de desarrollo, conforme a lo establecido en el Párrafo 1° bis del Título II de la ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente.”*

Dado que una vez emitido el informe preliminar se detallarán cuáles son los potenciales polos de desarrollo considerados en cada escenario energético preliminar, dentro de los 20 días hábiles siguientes a la publicación del informe preliminar, el Ministerio de Energía dictará el acto administrativo que da inicio a la etapa de diseño de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), el que deberá cumplir con lo señalado en el artículo 14 del Decreto N°32 de 2015, del Ministerio de Medio Ambiente.

El proceso de EAE se llevará a cabo según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación Ambiental Estratégica (Decreto N°32 del 17 de Agosto de 2015, del Ministerio de Medio Ambiente).

Tal como establece el respectivo Reglamento, se emitirá un informe ambiental dando cuenta de las actividades llevadas a cabo en este y de las consideraciones anteriormente detalladas. El informe ambiental, junto con el anteproyecto del informe técnico de cada polo de desarrollo que emanará del proceso de planificación energética de largo plazo, serán sometidos a consulta pública, de acuerdo a lo establecido en el reglamento para la evaluación ambiental estratégica.

Dado lo señalado anteriormente, la EAE considerará los siguientes hitos:

1. Inicio etapa de diseño de la EAE
2. Participación ciudadana en etapa de diseño de la EAE
3. Participación de otros organismos de la administración pública
4. Elaboración y emisión del ante-proyecto del Informe Técnico de cada Polo y del respectivo Informe Ambiental
5. Consulta pública ante-proyecto del Informe Técnico de cada Polo y del respectivo Informe Ambiental
6. Elaboración versión final ante-proyecto e Informe Ambiental



7. Emisión Resolución de Término EAE

Posterior a la resolución de término de la Evaluación Ambiental Estratégica, se trabajará en la elaboración del instrumento definitivo, el cual corresponde al informe técnico de cada polo de desarrollo.

3.3 Informe final y decreto de planificación

Luego del proceso de EAE, se procederá a elaborar los respectivos informes técnicos de cada polo de desarrollo. Los contenidos mínimos de cada informe técnico serán:

1. Localización del polo de desarrollo.
2. Potencial estimado del recurso energético del polo de desarrollo.
3. Tecnología de generación eléctrica.
4. Características del recurso energético.
5. Condicionantes ambientales y territoriales consideradas.

Una vez emitido cada informe técnico de polos de desarrollo, se procederá a evaluar cambios o consideraciones que pudiesen existir en ellos y que afecten el desarrollo de algún escenario energético. A su vez, el Ministerio evaluará, en caso de ser necesario, la actualización de algunos de los parámetros críticos del proceso para efectos de este informe final.

En caso que el Ministerio de Energía considere que no se encuentran dadas las condiciones para que el respectivo polo de desarrollo esté incorporado en un escenario energético, el escenario correspondiente será reemplazado por el respectivo escenario de respaldo anteriormente definido. En donde a su vez, se especificarán las razones por la cual el respectivo polo de desarrollo no fue finalmente incluido.

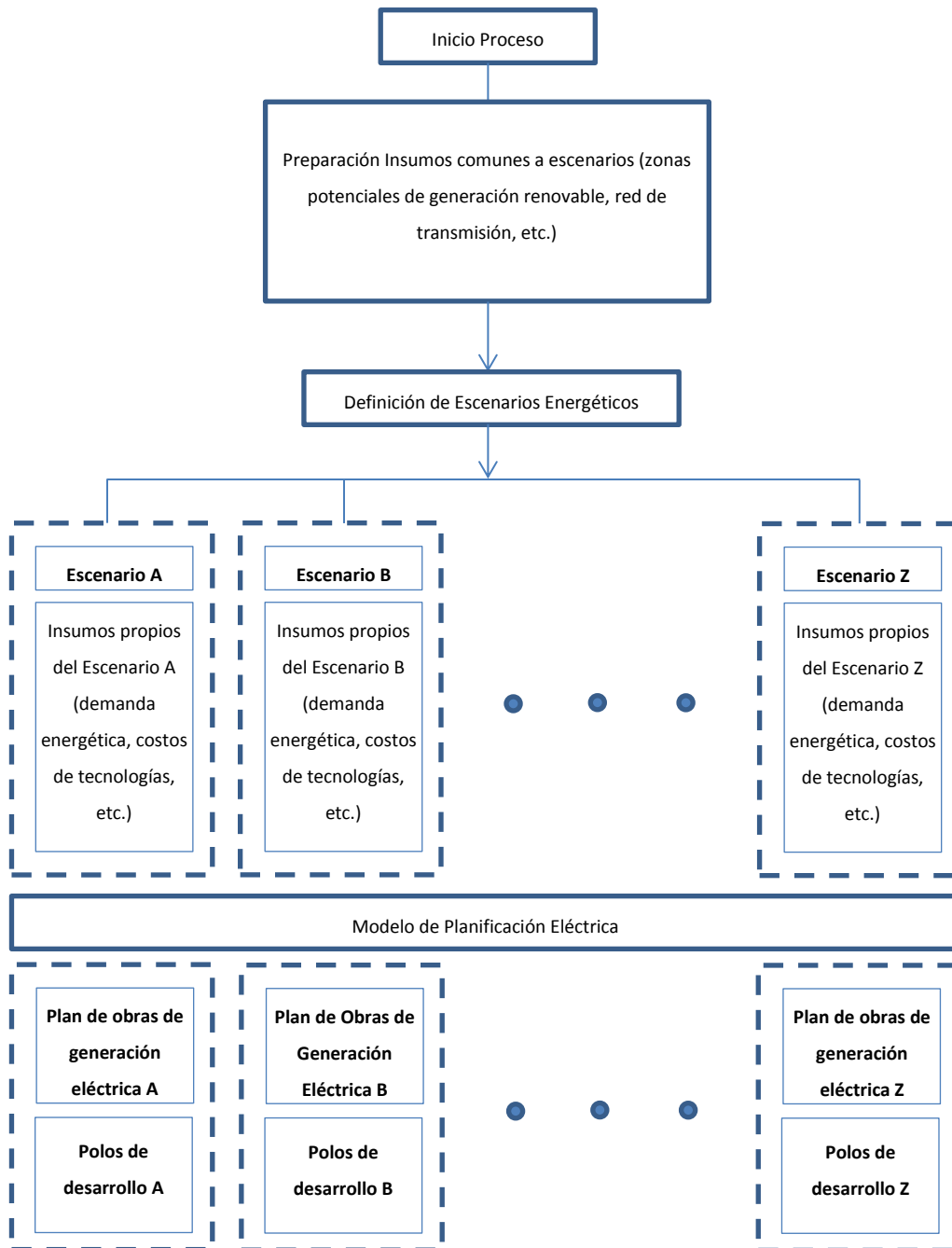
Al final del proceso, se emitirá el informe final, el cual tendrá la siguiente estructura:

1. Aspectos metodológicos del proceso de planificación.
2. Identificación de escenarios energéticos
3. Descripción de supuestos propios de cada escenario energético.
4. Plan de obras de generación eléctrica para cada escenario energético.
5. Polos de desarrollo para cada escenario energético, según corresponda.



4 Metodología de planificación

En este capítulo se describen los principales aspectos que se considerarán en cuanto a las herramientas y metodologías a utilizar en el proceso de planificación. A continuación, se muestra un esquema general del proceso de obtención de productos del proceso.





4.1 Definiciones de planificación

a) Objetivo del proceso de planificación

Entregar escenarios energéticos que contengan tendencias, comportamientos del consumo y de la oferta que el país podría enfrentar en el futuro, de modo que sean considerados en la planificación de los sistemas de transmisión eléctrica que llevará a cabo la Comisión Nacional de Energía.

Un escenario energético permite abastecer la o las proyecciones de demanda energética de forma eficiente de acuerdo, al menos, a las circunstancias actuales y tendencias previstas en materia de precios y costos relevantes para el sector, disponibilidad física de recursos energéticos, usos esperados de energía, prospectiva de cambios tecnológicos y las condicionantes ambientales y territoriales. Cada escenario tendrá como resultado una oferta de energía eléctrica para tales fines, considerando también, un análisis general de la oferta energética primaria requerida.

b) Productos esperados del proceso de planificación

Escenarios energéticos que contengan:

- Expansión futura de la generación eléctrica en un horizonte de al menos 30 años
- Proyección de oferta y demanda energética
- Polos de desarrollo de generación eléctrica

Estos productos, tal como se detalla en la Ley General de Servicios Eléctricos (art. 87°), serán considerados por la Comisión Nacional de Energía para llevar a cabo el proceso de Planificación de la Transmisión Eléctrica. Junto a esto, cabe señalar que la expansión de la transmisión no será un producto del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Por último, este proceso no entrará en detalles de calidad de servicio de distribución eléctrica.

c) Criterios para definición de escenarios energéticos

La Planificación Energética de Largo Plazo apuntará a los siguientes objetivos:

- Incorporar instalaciones económicamente eficientes y necesarias para minimizar riesgo de abastecimiento del sistema eléctrico y facilitar la competencia del sector.



- Crear las condiciones para que se cumplan los objetivos de la Política Nacional de Energía³.

Para la elaboración de los escenarios energéticos se utilizarán criterios de modo que las soluciones sean óptimas, al menos desde el punto de vista técnico y económico, y resilientes frente a distintas modificaciones en las variables modeladas. Se podrán considerar, entre otros, variaciones en las proyecciones de demanda, de costos de combustibles, costos de tecnologías de generación, y variables macroeconómicas y demográficas. En esta línea, cabe señalar que se realizarán modelaciones de largo y corto plazo del sistema eléctrico, analizando en detalle la operación de este y las dinámicas reales de funcionamiento que tienen las centrales de generación eléctrica y del sistema de transmisión, incluyendo la variabilidad de las tecnologías eólicas y fotovoltaicas. Además, se incluirán simulaciones de resiliencia para cada uno de los planes recomendados de obras de generación que provengan del respectivo escenario energético, con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del escenario de expansión propuesto, ante fallas en el sistema de transmisión y salidas intempestivas de las principales unidades de generación.

4.2 Modelo de proyección de demanda energética

Durante el proceso, se obtendrán proyecciones de demanda energética, tal como lo establece la Ley. Estas abarcarán a todos los energéticos considerados en el Balance Nacional de Energía y no sólo a la electricidad.

Para esto el Ministerio, durante 2015⁴, desarrolló una herramienta de proyección de demanda energética, totalmente parametrizable, en base a los modelos sectoriales construidos en la segunda etapa de la iniciativa MAPS-Chile.⁵

³ Política Nacional de Energía, aprobada en Decreto N° 148 del Ministerio de Energía, del 30 de Diciembre de 2015. El documento de la Política Nacional de Energía se encuentra disponible en: <http://www.energia2050.cl/wp-content/uploads/2016/07/Politica-Energetica-Nacional.pdf>

⁴ Licitación pública: “Elaboración e implementación de herramientas prospectivas de Largo Plazo”, adjudicada a la empresa Energy to Business. Informe Final de la consultoría disponible en Energía Abierta: http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Elaboraci%C3%B3n%20e%20implementaci%C3%B3n%20de%20herramientas%20prospectivas%20de%20Largo%20Plazo.pdf

⁵ En esta iniciativa se desarrollaron modelos sectoriales de proyección de consumo energético y gases de efecto invernadero, con validación de grupos expertos en cada una de las temáticas (ej. vivienda, transporte, etc.) y apoyo de los diversos organismos públicos relacionados. Gran parte de estos modelos se basaron en diversas metodologías de proyección, que consideraban la modelación de diversas medidas y políticas públicas aplicables a cada uno de los sectores.



La herramienta de proyección de demanda energética, considera un enfoque del tipo “*bottom-up*”, en la cual se construyen los consumos energéticos unitarios de cada sector en base a los usos finales de la energía de estos, para luego agregarlos y así obtener la demanda de energía total. Este tipo de enfoque permite modelar cambios en el comportamiento que puede tener la demanda energética en el mediano-largo plazo, como por ejemplo: penetración de electro-movilidad en el sector transporte, sustitución entre energéticos, entre otros.

Este modelo, cuenta con las siguientes características:

- Considera todos los sectores que componen el Balance Nacional de Energía⁶, con sus respectivos subsectores.
- La proyección se realiza, a su vez, para cada región del país y para todos los sectores y energéticos del Balance Nacional de Energía.
- Es capaz de considerar la introducción de nuevas tecnologías (ej. autos eléctricos) o la aparición de nuevos energéticos (ej. hidrógeno).
- Es parametrizable, en cuanto a que todos los parámetros de entrada tanto globales (ej. crecimiento económico) como sectoriales (ej. consumo de artefactos eléctricos en viviendas), son modificables y tienen incidencia en las proyecciones obtenidas por medio de este.
- Es capaz de incorporar medidas de eficiencia energética que inciden en cada uno de los sectores y en la estimación de la demanda energética.
- Realiza proyecciones de demanda energética para un horizonte de al menos 30 años.
- Está construido en base a modelos individuales en Microsoft Excel, que alimentan al modelo general que está montado en la plataforma LEAP⁷.

⁶ El Balance Nacional de Energía (BNE), desarrollado por el Ministerio de Energía, considera el levantamiento de la información de oferta y demanda energética para el país. Cabe señalar que a partir del año 2015, para el ejercicio que consideraba lo sucedido en el año 2014, el BNE, por primera vez, entrega información a nivel regional, y guiándose también por los estándares de la Agencia Internacional de Energía. Disponible en: <http://energiabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

⁷ La plataforma LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*), es un software que permite realizar análisis de políticas energéticas y cambio climático. Esta fue desarrollada por el *Stockholm Environment Institute* y a nivel mundial ha sido utilizada por cientos de organizaciones en más de 190 países. (Disponible en <https://www.energycommunity.org/>).



En este sentido, las principales consideraciones de la herramienta de proyección de demanda, para cada sector modelado del Balance Nacional de Energía, son las siguientes:

- Sector Comercial y Público.
 - Estos se dividen en los siguientes segmentos, con la finalidad de caracterizar usos finales y su comportamiento: supermercados, malls, bancos, clínicas, otro comercio, hospitales, universidades, colegios y otros edificios públicos. Esta división, se realizó en base a la información disponible en cuanto a usos finales de estos sectores, y a las empresas e instituciones encuestadas en el Balance Nacional de Energía.
 - Se proyecta el número de unidades de cada segmento (ej. número de supermercados), el cual alcanza un nivel de saturación.
 - Considera la distribución del uso de combustibles para cada uno de los segmentos modelados y el consumo energético por cada unidad de superficie utilizable en estos.
- Sector Residencial.
 - La unidad base de proyección en este sector es la vivienda, realizando su proyección según tipología y región (urbana/rural, departamento/casa).
 - Se considera la proyección del consumo energético unitario de cada vivienda para los usos finales: calefacción, agua caliente sanitaria, cocción y artefactos eléctricos; con sus respectivos cambios en el tiempo de su comportamiento.
 - Se considera la saturación de los consumos energéticos unitarios de cada vivienda, una vez alcanzado cierto nivel de desarrollo económico. Esto es clave de la modelación de los requerimientos de calefacción de cada vivienda y el alcance del confort térmico en estas.
- Sector Transporte.
 - Se modela la demanda de transporte de carga y pasajero, por medio de las variables Tonelada-kilómetro (TKM) y Pasajero-kilómetro (PKM).
 - La modelación también contempla la distribución de los distintos medios de transporte, y como esta puede cambiar en el tiempo (ej. migración de automóviles a transporte público).



- Dentro de cada tipo de transporte (ej. pasajero urbano), se consideran diversos modos (ej. auto particular, taxi y bus) y a su vez distintos tipos de vehículos (ej. gasolina, diésel, híbrido-gasolina, eléctrico, etc.).
- A su vez, se modela el transporte ferroviario, junto con su uso y la posible expansión de sus redes.
- Sectores Industrial y Minero.
 - El modelo considera todos los subsectores construidos en el Balance Nacional de Energía: azúcar, cemento, cobre, hierro, papel y celulosa, pesca, petroquímica, salitre, siderurgia, minería e industrias varias. Cada uno con las consideraciones pertinentes y particulares que lo describen (intensidad energética, producción, etc.).
 - Para estos subsectores, a excepción del subsector cobre, se considera una metodología clásica de modelación del tipo *bottom-up*, en donde, a partir de las intensidades energéticas (consumo energético por unidad de producción), la participación de energéticos y sus usos finales de la energía, se construye la demanda total de cada uno.
 - Para el subsector cobre, se considera la información minera, por región, proveniente de los reportes emanados por COCHILCO. En este, primero se considera la intensidad energética por cada proceso minero (mina rajo, mina subterránea, concentrado, lixiviación, fundición, refinera, servicios y desalinización), luego la participación de cada uno de estos procesos en la producción de mineral y posteriormente la participación de cada energético por proceso. Por último, se considera información respecto a intensidades y eficiencias por proceso, además de cambios en la ley del mineral en el tiempo.

Uno de los aspectos críticos en cuanto a la proyección de demanda eléctrica, corresponde a los supuestos de crecimiento económico del país. Para ello se cuenta con dos estimaciones de crecimiento económico esperado. Estas estimaciones al año 2050 se trabajaron en base a tres fuentes de información principales: información del Fondo Monetario Internacional (FMI)⁸ para

⁸ Disponible en: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/01/weodata/download.aspx>



proyecciones de crecimiento de corto y mediano plazo, y para largo plazo se consideran las proyecciones tanto de la OCDE⁹ como las desarrolladas por el Banco Central de Chile (BCCh)¹⁰.

Para realizar las proyecciones de demanda eléctrica, al menos se utilizarán como insumo las estimaciones de las fijaciones de precios de nudo de corto plazo efectuadas conforme al artículo 162° de la Ley, los informes de previsión de demanda para las fijaciones antes mencionadas y para las licitaciones de suministro eléctrico a clientes regulados a que se refieren los artículos 131° y siguientes de la Ley.

Como mínimo las proyecciones de demanda eléctrica deberán ser desagregadas por cada una de las regiones en las que se emplaza el sistema eléctrico nacional y para cada barra del sistema eléctrico modelado.

4.3 Metodología de proyección de oferta energética

Una vez realizadas las proyecciones de demanda energética, se procederá a realizar un análisis general del suministro de energía del país para el horizonte de tiempo considerado en la planificación.

Se realizarán, al menos, los siguientes análisis:

- Contraste entre la demanda de derivados del petróleo y la capacidad de refinación proyectada.
- Capacidad y disponibilidad de los terminales de GNL frente a la demanda del energético.
- Oferta y consumo de leña, sujeto a regulaciones existentes.
- Oferta y consumo de carbón en la matriz energética.

Cabe señalar que estos análisis de oferta energética, distinta a la eléctrica, se realizarán en este proceso de Planificación Energética sin la utilización de modelos para optimizar la infraestructura asociada a este tipo de suministro (ej. terminales de GNL, refinerías, etc.), sino que se cuantificará

⁹ Disponible en: <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>

¹⁰ Disponible en: http://www.bcentral.cl/es/DownloadBinaryServlet?nodeId=%2FUCM%2FBCCH_ARCHIVO_136033_ES&propertyId=%2FUCM%2FBCCH_ARCHIVO_136033_ES%2Fprimary&fileName=Minutas+Citadas+en+IPoM+Septiembre+2015.pdf



para cada escenario las necesidades de energéticos no eléctricos para abastecer la demanda energética.

4.4 Modelo de planificación eléctrica

La Ley N° 20.936 tiene por objeto la planificación por escenarios para el sistema eléctrico. Por esta razón se trabajará con herramientas de planificación eléctrica que consideren las dinámicas de operación e inversión del sistema eléctrico, permitiendo obtener planes de obras de generación óptimos. Para esto el Ministerio de Energía tiene planeado utilizar herramientas que permiten determinar rutas de expansión de capacidad de generación eléctrica costo-eficientes y proyectarlas a futuro, considerando las características físicas y operativas del sistema, junto con diversos parámetros de entrada y supuestos.

En particular, el Ministerio cuenta con el software Power Electricity Timetable (PET)¹¹, el cual es ampliamente utilizado en el sector eléctrico chileno, siendo parte de distintas iniciativas¹² en donde son requeridos planes de expansión de generación y transmisión eléctrica. Este software ha sido utilizado por el Ministerio en diversos estudios internos y cuenta con información de los distintos sistemas eléctricos y recursos energéticos.

Dentro de las principales características de este software, se encuentran:

- Optimización conjunta de la operación e inversión en transmisión y generación para un horizonte de tiempo determinado. En donde sus salidas corresponden a la optimización del parque generador y del sistema de transmisión¹³, en base a centrales candidatas a ser consideradas, junto con la operación del sistema eléctrico modelado.
- Costo de falla del sistema eléctrico está considerado en la función objetivo a minimizar.
- Representación multi-nodal del sistema eléctrico.
- Representación DC de la red de transmisión con pérdidas por tramos lineales.

¹¹ Este software ha sido desarrollado por la empresa IIC. Mega Prisma S.A. y adquirido por el Ministerio en el año 2012.

¹² El software PET ha sido empleado en los ejercicios de la plataforma Escenarios Energéticos 2030, en la Mesa ERNC de Energía 2050, entre otros.

¹³ La expansión de la transmisión no corresponde a uno de los productos del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo y no incidirá en la Planificación de la Transmisión que realizará la Comisión Nacional de Energía.



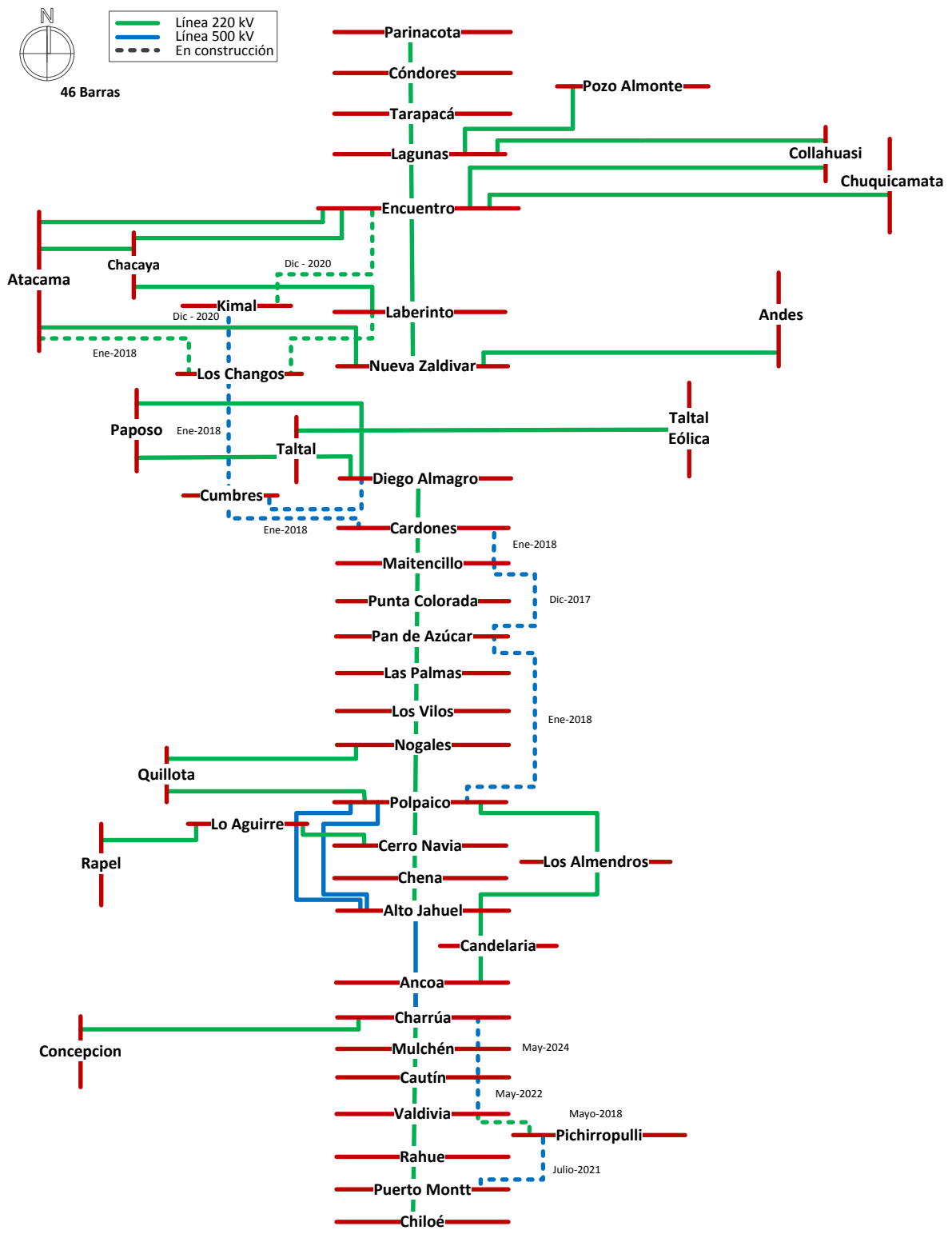
- Representación de demanda eléctrica en bloques de demanda.
- Modelación de recursos energéticos variables (afluentes hídricos, solar y viento).
- Representación de redes hídricas asociadas a centrales hidráulicas (centrales de embalse, serie y pasada).
- Representación de probabilidad de ocurrencia de hidrologías (alta, media y baja) por medio de la caracterización de series históricas.
- Representación de centrales de bombeo y almacenamiento de energía.
- Representación de la Ley N° 20.698 que propicia la ampliación de la matriz energética, mediante fuentes renovables no convencionales.
- Determinación de emisiones.
- Representación de mínimos técnicos.
- Representación de la remuneración de la potencia o reserva de potencia.
- Restricciones de potencial, potencia por grupos de unidades, de transmisión, de proyectos conjuntos, excluyentes y con precedencia, entre otras.

Cabe señalar que para representar la variabilidad de los recursos eólico y solar, se consideran perfiles horarios anuales localizados geo-localizados, y en el caso de centrales hidroeléctricas de pasada se consideraran perfiles diarios anuales geo-localizados o por cuenca.

La red eléctrica que considerará la planificación incluye 46 barras, las cuales fueron escogidas en base a tres criterios:

- **Representación eléctrica.** Se buscó una configuración que represente correctamente la operación troncal del sistema eléctrico.
- **Representación geográfica.** Las barras se escogieron siguiendo un criterio geoespacial, velando por que no existiera gran distancia entre ellas o por una adecuada representación de zonas intensivas en recurso energético renovable.
- **Representación computacional.** Si bien, para un ejercicio de modelación eléctrica es deseable contar con un gran número de barras y líneas de transmisión, dadas las diversas restricciones computacionales que imponen los modelos de planificación (modelos entero-mixtos) es deseable contar con un número acotado de ellas.

La topología de la red de transmisión, que se empleará en el modelo para el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, es la siguiente:



Sin perjuicio de que, tal como se mencionó anteriormente, el PET es el software a utilizar, el Ministerio de Energía podrá emplear en este proceso otros software de planificación eléctrica a efectos de contrastar y complementar resultados.



Complementariamente a los resultados de la modelación de planificación eléctrica, se realizarán modelaciones de la operación de largo y corto plazo que permitan analizar las dinámicas del sistema eléctrico y su coordinación hidro-térmica. Esto permitirá modelar con mayor detalle la operación del sistema, abordando temas como la operación de centrales termoeléctricas, variabilidad e intermitencia de recursos energéticos, entre otros temas.

Las tecnologías de generación eléctrica que serán consideradas en las modelaciones de planificación eléctrica, son las siguientes¹⁴:

- Solar Fotovoltaico
- Concentración Solar de Potencia (CSP)
- Eólica Terrestre
- Hidroeléctrica de Embalse
- Hidroeléctrica de Pasada
- Biomasa
- Carbón
- Gas Ciclo Combinado
- Gas Ciclo Abierto
- Biogás
- Diésel
- Geotermia
- Hidráulica de Bombeo
- Almacenamiento por Baterías

4.5 Metodología de construcción y selección de Escenarios

Un aspecto clave del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo corresponde a la construcción y evaluación de escenarios energéticos. En este sentido, la Ley señala que *“el proceso de planificación energética deberá incluir escenarios de proyección de oferta y demanda energética y en particular eléctrica, considerando la identificación de polos de desarrollo de generación,*

¹⁴ Cabe señalar que la selección de tecnologías de generación eléctrica a modelar se hizo en base a criterios técnicos: no existencia de mediciones de potencial del recurso (ej. energías marinas) e incertidumbre en cuanto al desarrollo de la tecnología en el país (ej. eólica off-shore).



generación distribuida, intercambios internacionales de energía, políticas medio ambientales que tengan incidencia y objetivos de eficiencia energética, entre otros, elaborando sus posibles escenarios de desarrollo. Asimismo, la planificación deberá considerar dentro de sus análisis los planes estratégicos con que cuenten las regiones en materia de energía". Dado esto, se apuntará a construir escenarios energéticos que cuenten con criterios de robustez, es decir que sean capaces de responder frente a diversas situaciones y que las soluciones entregadas se adapten a ellas.

En este sentido el Ministerio de Energía, con la cooperación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se encuentran trabajando en el proyecto "Propuesta de metodología de selección de escenarios robustos en una planificación energética de largo plazo, en el marco del proyecto de ley de transmisión eléctrica". Este trabajo se materializó por medio de una licitación internacional del BID, en donde la consultoría fue adjudicada al consorcio compuesto por la Universidad de Chile, Universidad Adolfo Ibañez y la consultora EECG. El trabajo apunta a construir una metodología de construcción y selección de escenarios energéticos, que además satisfaga los requerimientos establecidos en el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo. Los principales objetivos de la consultoría son:

- Revisión y análisis del estado del arte en metodologías de selección de escenarios.
- Desarrollo de una metodología de selección de escenarios, ad-hoc al proceso de Planificación Energética de Largo Plazo.
- Desarrollo de indicadores para el análisis de robustez de los escenarios.

En este sentido, el primer objetivo de este estudio ya fue abarcado, en donde se revisaron los ejercicios de planificación y procesos de construcción de escenarios en diversos sistemas eléctricos del mundo, tales como: ERCOT en Texas, California, MISO en EEUU y Canadá, Europa, entre otros. En ellos se encontraron diversas similitudes con el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo de Chile, por lo que la metodología propuesta de construcción de escenarios contendrá elementos de los ejercicios de planificación de tales sistemas. En esta línea, a partir de este estudio, se ha llegado a la decisión de seleccionar de 3 a 5 escenarios, en línea con la experiencia internacional¹⁵. Así es como cabe señalar que, si bien, se seleccionarán de 3 a 5 escenarios como

¹⁵ Cabe señalar que la experiencia internacional, muestra que la elección de 3 a 5 escenarios para efectos de planificar la transmisión, es adecuada para representar un gran número de situaciones futuras de desarrollo del sistema eléctrico. Ejemplos de esto se observan en el caso de California, donde el California Independent System Operator (CAISO) utiliza 3 escenarios para planificar en el largo plazo, o en el caso del sistema



resultado del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, para llegar a ellos serán simulados un número mayor de escenarios.

En este sentido, para el proceso de construcción de escenarios se convocará a un Comité de Expertos que permitirá sentar las bases de estos y entregar diversas tendencias energéticas futuras que debiesen ser consideradas. El trabajo de este Comité se centrará en los siguientes aspectos:

1. Identificación de variables críticas de tendencias futuras.
2. Priorización de factores críticos identificados
3. Construcción de tendencias futuras en base a los factores críticos identificados y que tengan un relato coherente.

Luego de estas tendencias futuras levantadas en forma descriptiva, el Ministerio procederá a construir y priorizar los respectivos escenarios energéticos, para posteriormente modelarlos de forma adecuada. El trabajo de construcción de escenarios, se realizará entre marzo y abril de 2017.

4.6 Metodología de identificación de potenciales zonas de generación

Uno de los insumos claves del proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, corresponde a la identificación de zonas que cuenten con potencial físico para la generación eléctrica mediante fuentes de energías renovables. Una vez se encuentren identificadas estas zonas, serán incorporadas en el modelo de planificación eléctrica para cada tecnología considerada y en cada escenario, siendo relevantes para la determinación de los respectivos planes de obras de generación eléctrica obtenidos en cada escenario y los potenciales polos de desarrollo, en caso de que corresponda.

Para la definición de zonas potenciales de generación eléctrica en base a recursos energéticos renovables, se procederá de la siguiente forma:

- Aspectos metodológicos generales para la identificación de áreas con potencial de generación, basado en la georreferenciación y caracterización de nuestros recursos

eléctrico que abarca 15 estados de Estados Unidos y 1 de Canadá, en donde el operador, el Mid-continent ISO (MISO), emplea 5 escenarios para planificar la transmisión.



aprovechables para energía renovable, considerando algunas restricciones territoriales y ambientales básicas mediante la aplicación de herramientas de sistemas de información geográfica¹⁶. Cabe señalar que los criterios ambientales tendrán coherencia con los objetivos ambientales de la Evaluación Ambiental Estratégica.

- Se identificará la información de los recursos renovables disponibles y de acceso público, con el cual se realizarán diferentes geo procesos necesarios integrando las variables técnicas, territoriales y ambientales que condicionan el aprovechamiento del recurso. El resultado de estos geo procesos permitirán identificar áreas cuyo aprovechamiento será utilizando un único sistema de transmisión.
- Cada zona potencial de generación será caracterizada indicando a lo menos: capacidad (MW), generación horaria para el caso eólico y solar, y para el caso hidroeléctrico series de potencia media diaria (en MW) para cada potencial central hidroeléctrica, basado en la disponibilidad de Derechos de Aprovechamiento de Aguas No Consuntivos (DAANC) que otorga de Dirección General de Aguas (DGA)¹⁷ y su probable generación a partir de las series simuladas de caudal según metodología desarrollada en el Libro “Energías Renovables en Chile. El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé, (MinEnergía/GIZ, 2014).
- Respecto al potencial geotérmico, se considerarán los antecedentes que se están levantando en la Mesa de Geotermia, instancia público privada liderada por el Ministerio de Energía, cuyo objetivo es analizar el impacto sistémico que el desarrollo de la energía geotérmica en Chile puede causar en los sistemas eléctricos interconectados.
- Los recursos renovables que puedan ser transportados para su aprovechamiento eléctrico no serán considerados como zonas potenciales de generación eléctrica (ej. biomasa). Así como tampoco, aquellas tecnologías que no se encuentren con madurez tecnológica que permitan una comercialización masiva, y en virtud de lo que la Ley específica, “*que resulta de interés público por ser eficiente económicamente para el suministro eléctrico (...)*”. Las energías renovables que no puedan ser aprovechadas por tecnologías que resulten eficiente económicamente para el suministro eléctrico tampoco serán consideradas en la

¹⁶ El Ministerio de Energía, cuenta con el software ArcGIS en sus versiones 10.4.1 y 10.2.2

¹⁷ Datos de DAANC actualizado a enero de 2016.



identificación de zonas con potenciales de generación, como por ejemplo el caso de eólica off-shore.

Las zonas potenciales de generación eléctrica mediante fuentes de energías renovables serán incorporadas al modelo de planificación eléctrica en cada barra del sistema eléctrico modelado, representando la localización de los recursos identificados. Una vez que estas sean introducidas en el modelo, serán priorizadas desde el punto de vista económico y técnico, para así obtener un plan recomendado de obras de generación eléctrica. Posteriormente a esto, y para cada escenario, el Ministerio procederá a determinar si es que algunas de estas zonas corresponden a potenciales Polos de Desarrollo.

Por último, y tal como se señala en la Ley, en cuanto a Polos de Desarrollo, *“la identificación de las referidas zonas tendrá en consideración el cumplimiento de la obligación establecida en el artículo 150° bis, esto es, que una cantidad de energía equivalente al 20% de los retiros totales afectos en cada año calendario, haya sido inyectada al sistema eléctrico por medio de generación renovables no convencionales”*. Esto se representará mediante una restricción del modelo de planificación eléctrica, en la que se garantice que el total de la generación eléctrica cumpla tal obligación en el tiempo y forma que se señala en la Ley.



5 Consideraciones varias y parámetros de entrada

En este capítulo se detalla el enfoque que se utilizará para la obtención de los parámetros de entrada a emplear en las modelaciones. Para ello se considera lo mencionado en la Ley N° 20.936 en cuanto a que: *“el proceso de planificación energética deberá incluir escenarios de proyección de oferta y demanda energética y en particular eléctrica, considerando la identificación de polos de desarrollo de generación, generación distribuida, intercambios internacionales de energía, políticas medio ambientales que tengan incidencia y objetivos de eficiencia energética entre otros, elaborando sus posibles escenarios de desarrollo. Asimismo, la planificación deberá considerar dentro de sus análisis los planes estratégicos con los que cuenten las regiones en materia de energía”*.

5.1 Generación distribuida

En el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, será considerada la penetración futura de los sistemas de generación distribuida. Esta será representada a través de la construcción de un modelo que estima su penetración en el sector residencial utilizando paneles fotovoltaicos domiciliarios hacia el año 2050, por medio de la metodología propuesta por el *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*¹⁸, adaptado para las condiciones nacionales.

La metodología considera cinco etapas de estimación detalladas a continuación que, como resultado, entrega proyecciones de adoptantes de tecnología, capacidad eléctrica incorporada y generación eléctrica:

1. **Simulador de Rendimiento:** Se estima la generación eléctrica anual para un módulo de 1 kWp según ubicación geográfica a nivel comunal. Los cálculos de generación consideran el nivel de radiación solar presente en cada comuna. Para el cálculo de generación eléctrica total por hogar se supone un hogar representativo con una instalación de módulos de 2kWp en su techumbre y vida útil de 25 años, con un autoconsumo del 70% del total generado por el panel y el restante inyectado a la red eléctrica, y una degradación anual de los módulos en su capacidad de generación 0.5%. Con lo cual se proyecta la generación eléctrica por hogar hasta el año 2050.

¹⁸ Denholm, P., Margolis, R. M., & Drury, E. (2009). The solar deployment system (SolarDS) model: Documentation and sample results. National Renewable Energy Laboratory.



2. **Cálculo de Ingreso Anual:** Una vez obtenida la proyección de generación eléctrica se calculan los ingresos que percibe el hogar hasta 2050 por la instalación de los módulos. Los ingresos se consideran como el ahorro del hogar por no consumir electricidad de la red a valor del precio de distribución más los ingresos percibidos por vender electricidad de la red al precio nudo por sistema de interconexión. Por otra parte, los costos anuales provienen del costo de inversión en los módulos y mantenimiento anual.
3. **Cálculo de la Cuota de Mercado:** Una vez obtenido el desempeño financiero, se estima la probabilidad de adopción del sistema por hogar. Para ello se estima una tasa de adopción siguiendo el modelo de Bass¹⁹, conjunto a la estimación de la fracción máxima de mercado (fmm) según el tiempo de recuperación de la inversión por hogar²⁰.
4. **Agregación Total:** Una vez realizados los pasos anteriores, que determinan el comportamiento de adopción individual de sistemas fotovoltaicos, se desarrollan las estimaciones de adoptantes sobre mercado potencial total. Para ello, se estima el mercado potencial considerando la cantidad de hogares existentes proyectados a futuro según el crecimiento poblacional, excluyendo aquellos hogares que no cumplen las condiciones técnicas necesarias para la instalación de los paneles²¹, y excluyendo también a la fracción de hogares que no están dentro de la fmm debido a la sensibilidad a la recuperación de la inversión. Una vez obtenido el mercado potencial, se estiman los adoptantes totales para cada año, según la probabilidad de adopción definido por la madurez del mercado dado por el modelo de Bass. Con el total de adoptantes estimados, es factible calcular la capacidad y generación total añadida al sistema, considerando la instalación de 2kWp por hogar y la generación anual por kilo-watt según zona geográfica.

La proyección de este tipo de generación, se considerará dentro del modelo de demanda energética, por lo que sus efectos serán vistos como otra forma de oferta energética en el país (tal como lo informa el Balance Nacional de Energía). Dado esto, el modelo de planificación eléctrica

¹⁹ Adopción en el mercado de nuevas tecnologías distinguiendo entre consumidores innovadores e imitadores.

²⁰ El cual está determinado por la elasticidad de sustitución intertemporal del hogar y el tiempo al que recupera la inversión obtenido en el cálculo del desempeño financiero. Anualmente la fmm aumenta ya que el tiempo de recuperación estimado anualmente decae con el tiempo dados los menores costos de inversión y mantenimiento conforme madura la tecnología.

²¹ Condiciones como tipo y tamaño de la vivienda, calidad de la techumbre y cantidad de sombra. La fracción de hogares aptos estimados en base a encuesta CASEN 2015 a nivel provincial.



tomará la proyección de este tipo de generación, como una menor demanda eléctrica a nivel del sistema eléctrico nacional, pero considerando las diferencias por barra del sistema.

5.2 Intercambios internacionales de energía

En el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, se considerará la actual interconexión eléctrica con Argentina, así como escenarios de materialización de los proyectos futuros con el mismo país y con Perú. Igualmente se considerarán intercambios de gas natural esperados con Argentina, para los cuales se considerará su impacto en la disponibilidad del energético para el parque generador. La forma y la materialización de estas interconexiones e intercambios, dependerá de cada escenario energético.

Estos proyectos de líneas de interconexión eléctrica serán definidos durante el trabajo del proceso, cuya información será obtenida, al menos, los estudios: *“Peru-Chile Interconnector: Technical Analysis Study”*, preparado el 2015 por Deloitte y Black & Veatch para el Departamento de Estado de EEUU; *“Estudio de Beneficios Económicos de una Interconexión Eléctrica Regional extendida en Sudamérica”*, en desarrollo por la consultora PSR para el Banco Interamericano de Desarrollo; entre otros disponibles a la fecha.

En cuanto a la forma de considerar estas interconexiones internacionales, en el modelo de planificación eléctrica se modelarán barras de consumo y generación, que representen al sistema eléctrico de los países vecinos.

5.3 Políticas medio ambientales que tengan incidencia

En este aspecto, serán considerados las políticas que tienen un impacto cuantificable a la hora de realizar el ejercicio de Planificación Energética de Largo Plazo. Al menos, serán considerados:

- Plan sectorial de energía de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático – Ministerio de Energía (en elaboración).



Uno de los elementos comprometidos en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) 2017-2022²², es la elaboración, por parte del Ministerio de Energía, de un plan sectorial de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Este plan contará con diversas medidas de mitigación que tienen impacto en el sector energético, por lo que serán modeladas y cuantificadas en la respectiva herramienta (demanda energética o planificación eléctrica).

- Planes de Descontaminación Atmosférica – Ministerio de Medio Ambiente.

Existen planes de descontaminación atmosférica que se encuentran vigentes y que tienen diferentes medidas²³. Para considerarlos, serán incluidos dentro de la herramienta de proyección de demanda energética con la respectiva consideración al consumo de ciertos energéticos.

5.4 Objetivos de eficiencia energética

En el proceso de Planificación Energética de Largo Plazo, se considerará la aplicación de medidas de eficiencia energética para los distintos sectores y energéticos informados en el Balance Nacional de Energía. También se analizará la penetración y el año de implementación de las medidas consideradas, para efectos de la modelación y la evaluación de su impacto²⁴. En este sentido se modelarán, al menos, las siguientes medidas por sector en el escenario que corresponda:

- Industria y Minería:
 - Asistencia técnica a nuevos proyectos
 - Sistemas de gestión de la energía
 - Estándares mínimos de eficiencia energética

²² Disponible en: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/04/Anteproyecto-PANCC-2017-2022-FINAL-2016-04-18.pdf>

²³ Documentos disponibles en: <http://portal.mma.gob.cl/planes-de-descontaminacion-atmosferica-estrategia-2014-2018/>

²⁴ Estas medidas fueron modeladas según los parámetros levantados en el estudio “Elaboración e implementación de herramientas prospectivas de Largo Plazo”, desarrollado por la empresa Energy to Business. Informe Final de la consultoría disponible en Energía Abierta: http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Elaboraci%C3%B3n%20e%20implementaci%C3%B3n%20de%20herramientas%20prospectivas%20de%20Largo%20Plazo.pdf



- Fomento a la cogeneración
- Transporte:
 - Kits de eficiencia energética en camiones
 - Conducción eficiente
 - Cambio modal
- Comercial:
 - Estándares mínimos de eficiencia energética
- Público:
 - Estándares mínimos de eficiencia energética
 - Reemplazo luminarias públicas
 - Programa de eficiencia energética en edificios públicos
 - Programa de eficiencia energética en hospitales
- Residencial
 - Estándares mínimos de eficiencia energética
 - Re-etiquetado de artefactos
 - Fomento a sistemas de agua caliente sanitaria en base a energía solar
 - Reglamentación térmica
 - Calificación energética de viviendas
 - Reacondicionamiento de viviendas vulnerables
 - Reacondicionamiento de viviendas vía créditos blandos
 - Fomento al uso de leña seca

5.5 Planes estratégicos con los que cuentan las regiones en materia de energía

En este aspecto, se considerará la información que provenga de los Planes Energéticos Regionales (PER) que se encuentran en desarrollo por parte del Ministerio de Energía. En estos se realiza un diagnóstico energético de la región, levantando información técnica, territorial y ambiental relevante. En la actualidad, se encuentran tienen los siguientes planes con su respectivo estado:

- Coquimbo – cierre de la fase de construcción
- Arica y Parinacota – fase de construcción en desarrollo
- Tarapacá - fase de construcción en desarrollo



- Antofagasta - fase de construcción en desarrollo
- Atacama - fase de construcción en desarrollo
- Biobío – cierre de la fase de diagnóstico
- Araucanía – probable inicio de fase diagnóstico
- Región Metropolitana – probable inicio de fase diagnóstico.

5.6 Consideraciones adicionales

5.6.1 Proyecciones de costos de inversión de tecnologías de generación eléctrica

La información de costos de tecnologías de generación, ya sea de inversión u operación y mantenimiento, corresponde a uno de los parámetros críticos que se debe ingresar a un modelo de planificación eléctrica, debido a que determina el costo de instalar y operar una central de generación eléctrica de una cierta tecnología.

Para esto, cabe señalar que se realizarán proyecciones de costos de inversión de, al menos, las siguientes tecnologías: solar fotovoltaico, concentración solar de potencia (CSP), eólica, hidroeléctrica, mini hidroeléctrica, biomasa, carbón, gas ciclo combinado, gas ciclo abierto, biogás, diésel, geotermia y almacenamiento.

Se utilizarán, al menos, las siguientes fuentes de información, tanto nacionales como internacionales, con fecha de publicación posterior o igual al año 2015:

- a) Bloomberg New Energy Finance:
 - a. Americas Levelized Costs
 - b. Global Levelized Costs
 - c. New Energy Outlook Wind
 - d. Global PV Market Outlook
 - e. Global Wind Market Outlook
 - f. 2030 Market Outlook – Americas (Brazil)
- b) Energy Information Administration (EIA) : Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016
- c) Lazard:
 - a. Lazard’s Levelized Cost of Energy Analysis 2015, version 9



- b. Lazard's Cost of Storage Analysis 2015, version 1
- d) National Renewable Energy Laboratory (NREL): 2016 Annual Technology Baseline
- e) AECOM: Energy Storage Study
- f) Global Wind Energy Council (GWEC) : Energy Revolution "A Sustainable World Energy Outlook 2015"
- g) Global Energy [R]evolution (GER), a Sustainable World Energy Outlook 2015.
- h) IRENA, The Power to Change, Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2015.
- i) Comisión Nacional de Energía (CNE): Mesas de Trabajo, Costos por Tecnología de Generación, 2016.
- j) Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA), Registro de Proyectos Ingresados
- k) International Energy Agency (IEA) :
 - a. Energy Technology Perspectives, 2016.
 - b. Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition.
 - c. Renewable Energy "Medium-Term Market Report", 2016

Junto a lo anterior se considerará la información levantada por la Comisión Nacional de Energía en las mesas de trabajo iniciadas el segundo semestre del año 2016, en el marco de la elaboración del nuevo "Informe de Costos por Tecnología de Generación".

El primer paso de la proyección de costos de inversión radicará en codificar las fuentes de información en un formato común. Dado que las proyecciones, en su mayoría, se presentan en series no continuas en el tiempo, se realizará una interpolación lineal con la finalidad completar las series con los años faltantes. Posteriormente, se realizará una extrapolación lineal con una media móvil de 10 años de la tasa de crecimiento para completar la serie hasta el año 2050, con fin de capturar tendencias con tasas de disminución cada vez menores en el tiempo. Por último, con los datos de inflación para Estados Unidos Publicados por el Bureau of Labor Statistics, se realizará la conversión de todos los costos a dólares equivalentes, llevando las series a dólares de 2015.

Posteriormente, se fijará el punto de inicio de la proyección, correspondiente al costo la tecnología instalada en Chile para el año 2016. Este punto inicial corresponderá a datos emitidos por la Comisión Nacional de Energía, en caso de disponer un análisis para tecnología analizada.

Luego de esto y para acotar las proyecciones indicadas en las diversas fuentes expuestas anteriormente, se realizará un trabajo de envolventes inferiores y superiores, obteniendo así las



proyecciones para cada una de las tecnologías. Esta metodología, está en línea con lo desarrollado durante el proceso de la Mesa ERNC de Energía 2050²⁵, en donde también se realizaron proyecciones de costos de inversión de tecnologías de generación.

5.6.2 Proyecciones de costos de Combustible

Uno de los parámetros relevantes para la proyección de la operación del sistema eléctrico, corresponden a los costos de los combustibles de las centrales de generación eléctrica. Para esto se considerarán lo siguiente:

- Diversas fuentes internacionales de proyección del petróleo, gas natural y carbón, tales como: Department of Energy (DOE) de Estados Unidos, International Energy Agency, entre otros.
- Se considerará la metodología empleada por la Comisión Nacional de Energía en el último “Informe de Proyecciones de Precios de Combustibles” que se encuentre disponible, para llevar el precio internacional del combustible respectivo, a valores que se verían en Chile.

5.6.3 Efectos de cambio climático

El sector eléctrico está estrechamente vinculado con el clima y las distintas variaciones que este tiene, ya sea desde el punto espacial como temporal. Para este proceso se analizará, al menos, los efectos que tendría el cambio climático en la disponibilidad de recursos naturales para la generación eléctrica. Esto se evaluará dependiendo de la disponibilidad de fuentes de información que se posea para el país y con el detalle requerido para incorporarlo en la evaluación de potenciales de generación eléctrica, para posteriormente considerarlo en las simulaciones y en los distintos escenarios. A su vez, en el marco del respectivo Plan sectorial de Adaptación al Cambio Climático, que comenzará a elaborar el Ministerio de Energía durante el año 2017, se generará información al respecto, que también pudiese ser empleada para este proceso.

Al menos se analizará, dentro de los escenarios, el efecto que pudiese tener el cambio climático sobre la hidrología del país y las posteriores consecuencias en la generación hidroeléctrica. Por ejemplo, en el estudio encargado por el Ministerio de Energía “Determinación del Impacto del Cambio Climático en el Potencial Esperado de Generación Hidroeléctrica en la cuenca del río

²⁵ Resultados disponibles en: <http://www.energia2050.cl/es/documentos/mesa-ernc/>



Maule²⁶, se llegó a que uno de los puntos importantes a evaluar son los posibles cambios en la temporalidad del caudal disponible por las centrales hidroeléctricas.

²⁶ Disponible en Energía Abierta en:
http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20-%20MENR-15-001.pdf