

**ANÁLISIS DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL  
CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO**

**INFORME FINAL – RESUMEN EJECUTIVO**

Preparada para:



Diciembre, 2014

M 1477 - 14

## ANÁLISIS DE CONSUMO ELÉCTRICO EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

### CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
2.	RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ANÁLISIS COMPARATIVO ..	6
2.1.	SELECCIÓN DE PAÍSES E INFORMACIÓN UTILIZADA .....	7
2.2.	METODOLOGÍA UTILIZADA Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	9
3.	MODELOS DE PROYECCIÓN DE DEMANDA ANUAL DE ELECTRICIDAD POR SISTEMA .....	11
3.1.	METODOLOGÍA GENERAL .....	11
3.2.	ESTIMACIÓN SISTEMAS SIC Y SING .....	12
3.2.1.	INFORMACIÓN UTILIZADA .....	12
3.2.2.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	14
3.3.	ESTIMACIÓN SISTEMAS MEDIANOS .....	16
3.3.1.	INFORMACIÓN UTILIZADA .....	16
3.3.2.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	17
3.4.	CONCLUSIONES .....	18
4.	POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SUS EFECTOS EN EL CONSUMO ELÉCTRICO .....	20
4.1.	ANÁLISIS DEL EFECTO DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONSUMO .....	21
4.1.1.	METODOLOGÍA UTILIZADA .....	21
4.1.2.	RESULTADOS .....	22
4.2.	EXTRAPOLACIÓN AL CASO DE CHILE .....	24
4.2.1.	METODOLOGÍA UTILIZADA .....	24
4.2.2.	RESULTADOS .....	24
5.	PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE CLIENTES REGULADOS .....	25
5.1.1.	METODOLOGÍA UTILIZADA .....	25
5.1.2.	INFORMACIÓN UTILIZADA .....	25
5.1.3.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	27
6.	PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE CLIENTES LIBRES .....	37
6.1.1.	METODOLOGÍA UTILIZADA .....	37
6.1.2.	RESULTADOS .....	37
7.	ANÁLISIS EXTRATENDENCIAL: EXPANSIONES DE PROYECTOS EXISTENTES .....	38
7.1.1.	METODOLOGÍA .....	38
7.1.2.	SIC: INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	38
7.1.3.	SING: INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	39
8.	ANÁLISIS EXTRATENDENCIAL: ANÁLISIS DE NUEVOS PROYECTOS ELECTROINTENSIVOS .....	40
9.	CONCLUSIONES Y CRECIMIENTO DE LARGO PLAZO .....	40

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Proyección Generación Eléctrica SIC y SING (GWh), 2014-2044 .....	14
Tabla 2	Proyección Consumo Eléctrico Sistemas Medianos (MWh), 2014-2028 .....	18
Tabla 3	Resumen de Proyecciones (GWh) .....	19
Tabla 4	Años Pívor seleccionados por País .....	23
Tabla 5	Eficiencia Energética: Conclusiones .....	23
Tabla 6	Tarifas Eléctricas .....	26

Tabla 7 Proyección Consumo Eléctrico SIC, SING y SSMM (GWh), 2013-2022 .....	27
Tabla 8 Proyección Consumo Eléctrico por Región (GWh), 2013-2040 .....	28
Tabla 9 Proyección Consumo Eléctrico por Sector Económico, 2013-2022 .....	29
Tabla 10 Escenarios de Crecimiento Económico, 2013-2022 .....	30
Tabla 11 Sensibilidad Crecimiento: SIC, 2013-2022 .....	30
Tabla 12 Sensibilidad Crecimiento: Residencial e Industrial, 2013-2022.....	31
Tabla 13 Sensibilidad Crecimiento: Regiones Centrales, 2013-2022 .....	32
Tabla 14 Sensibilidad Crecimiento: Regiones Norte y Sur, 2013-2022.....	33
Tabla 15 Sensibilidad Precios: Antofagasta, 2013-2040 .....	34
Tabla 16 Coeficiente de Estacionalidad Mensual Historicos .....	36
Tabla 17 Proyeccion Consumo Clientes Libres (GWh).....	38
Tabla 18 SIC - Proyección Propuesta Grandes Consumidores.....	39
Tabla 19 SING – Proyección Propuesta Grandes Consumidores (GWh) .....	39
Tabla 20 Producto y Consumo per Capita Comparables Chile .....	40
Tabla 21 Proyección de la demanda de electricidad en Chile (GWh) .....	41
Tabla 22 – Conclusión Final: Proyección de la Demanda de Electricidad a Largo Plazo en Chile (GWh).....	42

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 PBI per cápita por País .....	8
Gráfico 2 PBI per cápita y Consumo de Energía Eléctrica: Tasas Promedio [1970-2010] .....	9
Gráfico 3 Evolución Consumo SIC (GWh), 2000-2028.....	15
Gráfico 4 Evolución Consumo SING (GWh), 2000-2028 .....	16
Gráfico 5 Coeficientes de Estacionalidad Promedio Historicos .....	35

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo establecido en las Bases Administrativas y Técnicas de Licitación preparadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), el presente trabajo de consultoría tiene como objetivo general la asistencia técnica en el análisis del consumo eléctrico de sistemas interconectados y sistemas medianos nacionales, y una propuesta de proyección de demanda en un horizonte de 30 años.

Los objetivos específicos del Estudio, según lo establecido en las mencionadas Bases, son:

- Analizar los consumos eléctricos históricos de los sistemas interconectados y los sistemas medianos (SSMM).
- Proponer un modelo de proyección de demanda por sistema eléctrico.
- Proponer un modelo de proyección de demanda de clientes regulados por sistema eléctrico.
- Proponer un modelo de proyección de demanda de clientes libres por sistema eléctrico.

El estudio fue desarrollado en dos etapas. En la primera etapa, se presentaron los resultados de las siguientes actividades:

1. Compilación y procesamiento de la información histórica de consumo y/o generación histórica por sistema eléctrico de Chile, en base a la información proporcionada por la CNE.
2. Compilación y procesamiento de la información histórica de consumo y/o generación histórica de una muestra de diversos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, en base a información relevada de organismos internacionales y a información proporcionada por la CNE.
3. Análisis, para una muestra de 14 países -incluido Chile- y 7 Estados de EE.UU., de la relación entre consumo y Producto Bruto Interno (PBI).
4. Análisis e identificación de las variables que podrían explicar la demanda anual de cada sistema eléctrico, incluyendo los Sistemas Medianos (SSMM).
5. Propuesta de modelo econométrico de proyección de la demanda de energía eléctrica por sistema de Chile, incluyendo los Sistemas Medianos (SSMM).
6. Propuesta de escenarios de crecimiento de las variables explicativas de los modelos.
7. Estimación de la proyección anual de la demanda de energía eléctrica por sistema eléctrico, incluyendo los Sistemas Medianos (SSMM).

Un detalle de la metodología y criterios aplicados, y de los resultados obtenidos en esta primera etapa, se presenta en el Tomo I del presente Informe Final.

En la segunda etapa, por su parte, se presentaron los resultados de las siguientes actividades:

1. Compilación y procesamiento de la información histórica de ventas físicas de electricidad facturadas, cantidad de usuarios del servicio, e ingresos provenientes de las ventas de electricidad, por empresa distribuidora y por tipo de tarifa, en base a la información proporcionada por la CNE.
2. Análisis de los efectos de políticas de eficiencia energética en el consumo en una muestra de seis países -incluido Chile-, así como del Estado de California
3. Determinación de los posibles ahorros de consumo de energía eléctrica derivados de

la aplicación de políticas de eficiencia energética en Chile.

4. Identificación de las expansiones y los nuevos proyectos de grandes usuarios con alto consumo de electricidad, y estimación de los consumo de energía eléctrica de los mismos, considerando un horizonte de 30 años.
5. Análisis de las nuevas industrias electrointensivas con potencial desarrollo en Chile, y determinación del impacto de éstas en el consumo de electricidad.
6. Análisis e identificación de las variables que podrían explicar el consumo de energía eléctrica por sistema eléctrico, por región geográfica y por sector económico, para usuarios regulados y libres.
7. Propuesta de modelos de proyección de consumo de energía eléctrica por sistema eléctrico, por región geográfica y por sector económico, para usuarios regulados y libres.
8. Propuesta de escenarios de crecimiento de las variables explicativas de los modelos.
9. Estimación de la proyección anual de consumo de energía eléctrica por sistema eléctrico, por región geográfica y por sector económico, para usuarios regulados y libres.
10. Determinación de la modulación mensual del consumo de energía eléctrica.
11. Propuesta de modelo de proyección del consumo de energía eléctrica total y per cápita para un horizonte de 30 años.

Un detalle de la metodología y criterios aplicados, y de los resultados obtenidos en esta segunda etapa, se presenta en el Tomo II del presente Informe Final.

## **2. RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ANÁLISIS COMPARATIVO**

A partir de la segunda revolución industrial, y con la posterior explosión tecnológica, el crecimiento económico se reflejó en un impresionante incremento de la demanda de electricidad. Aún más, la historia más reciente ha reflejado una relación muy estrecha entre estas variables. Esta situación ha conllevado el desarrollo de una amplia bibliografía que sirve como bagaje teórico para cualquier análisis de esta índole.

En la literatura actual pueden encontrarse diversas hipótesis sobre la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico. De todas ellas, tal vez la que tiene más consenso es la denominada “hipótesis de conservación de la energía”, que establece que la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico es unidireccional, desde el producto hacia el consumo.

La familia de modelos, que recoge la concepción de la conservación de energía, se debe a Fisher y Kaysen (1962), y es frecuentemente utilizada para estimar la demanda por electricidad. En estos modelos, la demanda por energía eléctrica se deriva de la demanda por equipos y artefactos eléctricos. Estos equipos suelen ser durables, y su consumo de energía es esencialmente fijo y determinado por su diseño técnico. El consumo varía con la utilización y el stock de equipos existentes, y las características tecnológicas del mismo.

Desde el punto de vista práctico, existe un modelo econométrico que representa lo anterior, permitiendo estimar elasticidades ingreso de la demanda eléctrica de corto y largo plazo, denominado Modelo de Ajuste Parcial. Este modelo supone que en el corto plazo el stock de equipos que utilizan electricidad es fijo. Por lo tanto, la demanda de electricidad será inelástica, incluso tendiendo a ser perfectamente inelástica, respecto al nivel de ingreso. En el largo plazo, sin embargo, los agentes económicos podrán modificar el stock de bienes durables. De este modo, la demanda tenderá a ser más elástica respecto al nivel de

actividad de la economía. No obstante, la intensidad de esta relación se encuentra sujeta a la estructura productiva del país así como a las características de los bienes, en referencia a su eficiencia energética.

Del párrafo anterior se desprende que la relación entre el producto bruto per cápita y la demanda de electricidad no es constante a lo largo del tiempo, sino que puede variar. La llamada “desmaterialización de las economías” hace referencia al proceso por el cual se desacopla el consumo de electricidad del proceso de crecimiento económico: cabe esperar que la relación entre energía y capital se reduzca a través del progreso tecnológico y económico.

En primer lugar, este fenómeno se produce porque se podrían reemplazar los aparatos eléctricos por otros que usan otras energías, o bien, por innovaciones tecnológicas que conducen a la aparición de generaciones de capital con menores requerimientos energéticos. De este modo, aumentos importantes en la eficiencia energética de los países, compensan parcialmente el crecimiento del PBI. En consecuencia, la elasticidad ingreso de largo plazo se va reduciendo con el paso del tiempo.

En segundo lugar, la mayor conciencia medioambiental y la educación generan una demanda de más calidad medioambiental. Esta realidad reduce la intensidad energética, favoreciendo el proceso de desmaterialización económica.

En conclusión, existe una estrecha vinculación entre el PBI per cápita y el consumo de electricidad de un país. Esta relación debe ser analizada en detalle, en especial, considerando los distintos factores que la afectan. Con este objetivo en particular, se decidió utilizar la familia de modelos que se encuadran dentro de la hipótesis de conservación de la energía, en particular, el modelo de Ajuste Parcial.

## 2.1. SELECCIÓN DE PAÍSES E INFORMACIÓN UTILIZADA

Con el fin de analizar la relación entre el consumo de energía eléctrica y el PBI per cápita, se realizó un análisis comparativo de una selección de 14 países, así como de algunos Estados de EE.UU. dado que sus características pueden resultar más similares a la economía chilena que la comparación con el país completo.

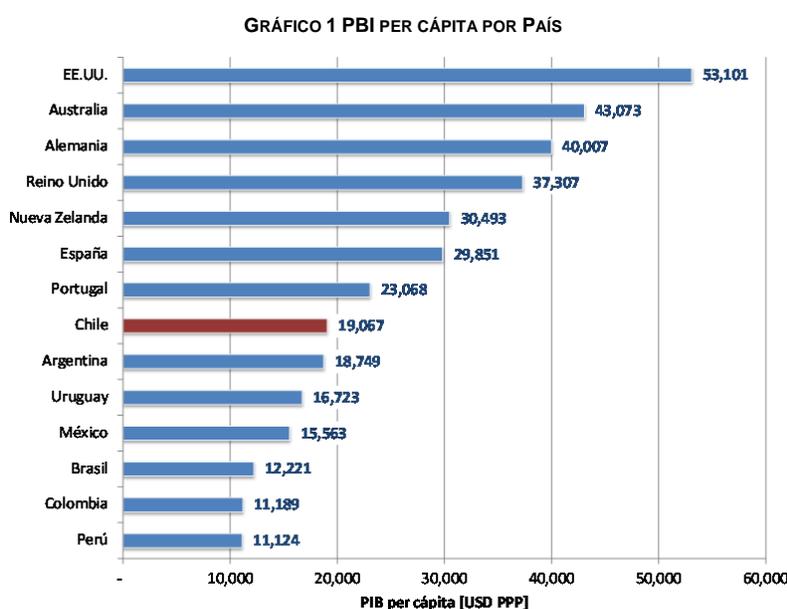
La selección de los países, que incluye a Chile, agrupa 7 países denominados desarrollados y 7 emergentes. El objetivo de dicha selección responde a buscar patrones similares y, a su vez distintos entre los grupos de países, cada uno con niveles de desarrollo y estructuras económicas distintas. Entre los países emergentes fueron seleccionadas las principales economías de América Latina, que al mismo tiempo son países lindantes a Chile y enfrentan contextos y coyunturas económicos similares. De todos modos, cada uno presenta ciertas características propias que los convierten en países de interés para el estudio. Entre estos se encuentran:

- *Brasil*: el principal mercado eléctrico de América Latina en cuanto a su desarrollo y tamaño, además de contar con probada eficacia en la aplicación de políticas de eficiencia energética luego de la fuerte crisis que afectó al país;
- *Argentina*: caracterizado por ser el segundo mercado eléctrico de la región, donde las políticas de precios y subsidios han incentivado el crecimiento de la demanda de energía;
- *Perú*: uno de los países de América donde el crecimiento económico y del consumo energético han sido los más vigorosos últimamente;
- *Colombia*: además de ser uno de los principales mercados eléctricos de la zona, el mismo es un mercado competitivo con una alta integración con el mercado de gas natural,

- *México*: un país muy electrointensivo donde se han aplicado una gran variedad de políticas de eficiencia energética para contrarrestar dicha característica; y
- *Uruguay*: un país donde se ha relegado la eficiencia energética.

Por el otro lado, se seleccionaron otros países fuera de la región, que por diversas razones se entendieron relevantes para el análisis. Se buscó incluir países con características geográficas y climáticas similares a la de Chile, como puede ser el caso de Nueva Zelanda Australia, y Portugal; así como países con probada eficacia en la aplicación de políticas de eficiencia energética, como Alemania y Reino Unido. Finalmente, se consideraron las principales economías del mundo, como puede ser Estados Unidos.

La Gráfica 1 muestra el PBI per cápita del año 2013 para los países seleccionados. Chile, con un PBI per cápita en dólares internacionales corrientes (medido en Paridad de Poder de Compra –PPP, por sus siglas en inglés-) de 19,067 se encuentra en la octava posición dentro de la muestra de los países estudiados.



FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE IMF

Por su parte, fueron seleccionados siete Estados de EE.UU. (California, Colorado, Texas, Nevada, Nebraska, Florida y Massachusetts), considerando distintos criterios, como son la similitud climática y geográfica, la estructura productiva, la importancia dentro del país, la eficacia en la aplicación de políticas de eficiencia energética, y la existencia de sistemas interconectados. Además, fueron utilizados aquellos Estados de los cuales fue posible encontrar series suficientemente largas y que pasaron las pruebas de consistencia.

Las fuentes de información utilizadas para el desarrollo de esta actividad fueron:

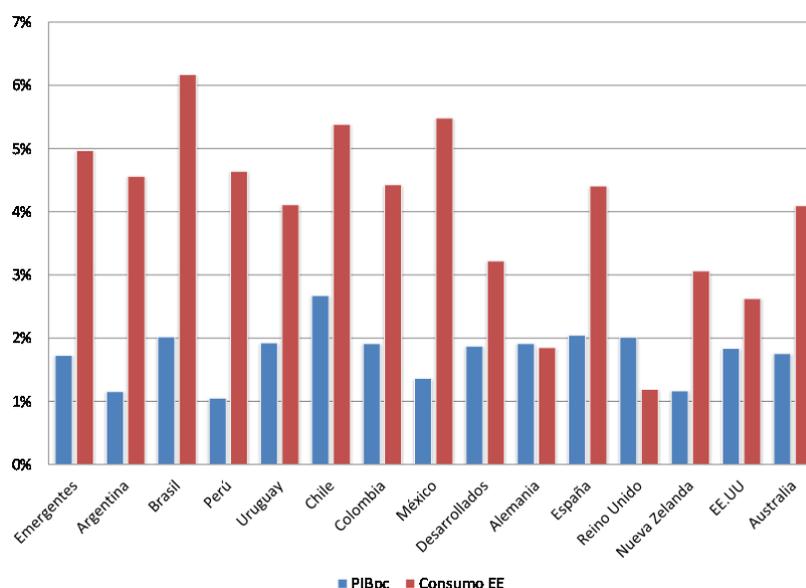
- Fondo Monetario Internacional (IMF, por sus siglas en inglés)
- Banco Mundial (WB, por sus siglas en inglés)
- Organización de las Naciones Unidas (UN, por sus siglas en inglés)
- Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés)
- U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA, por sus siglas en inglés)
- Administración de Información Energética (EIA, por sus siglas en inglés)

Del análisis de la información relevada se concluye que los países emergentes se han

caracterizado por un mayor crecimiento económico, y por consiguiente, del consumo de electricidad. Es importante aclarar que si bien el aumento de los precios de las materias primas y el flujo de capitales hacia los países emergentes que se observó en la última década han potenciado el crecimiento económico, sus características estructurales ya determinaban que el crecimiento de largo plazo sería superior al de los países desarrollados: los países emergentes se caracterizan por tener elevados niveles de crecimiento poblacional, altas tasas de ahorro e inversión, y un fuerte *catch-up* tecnológico. Respecto al crecimiento del consumo de electricidad, basta mencionar que los países más desarrollados se han caracterizado por un desacoplamiento de sus economías, traducida en una disminución de la elasticidad ingreso del consumo eléctrico a lo largo del tiempo.

La Gráfica 2 presenta las tasas promedio de crecimiento anual del PBI per cápita y del consumo de energía eléctrica para el período 1970-2010:

**GRÁFICO 2 PBI PER CÁPITA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS PROMEDIO [1970-2010]**



FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE LA IEA Y UN

Se observa que, en el período 1970-2010, todos los países (excepto Alemania y el Reino Unido) exhiben una tasa de crecimiento de consumo eléctrico mayor a la tasa de crecimiento del producto per cápita, siendo mayor la diferencia observada en los países emergentes.

En el caso de los Estados de EE.UU. se aprecia una clara desaceleración en la tasa de crecimiento económico. Esta situación, responde a los ya mencionados factores estructurales (menores tasas de crecimiento de la población, menores tasas de inversión y menor incorporación tecnológica al encontrarse en la frontera de innovación). En la última década se observa una fuerte caída de la tasa de crecimiento, asociada a la fuerte crisis internacional, que potenció la dinámica que se venía observando hace algunas décadas.

Respecto al consumo de electricidad, se observa, en general, una desaceleración de la tasa de crecimiento a lo largo de los años.

## 2.2. METODOLOGÍA UTILIZADA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Con el objetivo de estudiar la relación de interés para la muestra seleccionada, se han realizado los siguientes análisis:

1. Análisis gráfico: observando gráficos de tendencia y de dispersión.
2. Análisis econométrico: estimación de regresiones basadas en el Modelo de Ajuste Parcial.
3. Análisis estadístico no paramétrico: tests de media y medianas.

La evolución de las series estudiadas, demuestra una estrecha relación entre el consumo de energía eléctrica y el nivel de producto bruto per cápita, la cual reside en los diversos procesos productivos y el stock de bienes durables que requieren del uso de energía eléctrica en distintas formas. Esta relación se define a partir de la elasticidad ingreso de la demanda. Se aprecia, en todos los países, la existencia de una correlación positiva entre ambas variables, en algunos casos más fuerte que en otros.

De acuerdo a lo esperado, la elasticidad de largo plazo es más alta, en todos los casos, que la elasticidad de corto plazo: los agentes económicos, en el corto plazo, no pueden responder a cambios en el ingreso, a diferencia de lo que ocurre en el largo plazo, cuando los mismos pueden adaptarse ajustando su consumo.

También se observa que existen períodos puntuales donde el PBI cae y el consumo de energía eléctrico se mantiene estable, sin reaccionar a dicha caída (inercia del consumo). En econometría, esto puede modelarse a través de la incorporación de términos autorregresivos y/o de tendencia.

Si realizamos un análisis dinámico del comportamiento de la elasticidad, es posible observar que en la mayoría de los países la elasticidad cae, lo que significa que con el tiempo se vuelven más eficientes en el uso de la electricidad.

Tanto los países emergentes como los países desarrollados manifiestan tendencias crecientes para el PBI per cápita y el consumo de energía eléctrica dentro del período 1970-2010. No obstante, también se observa una desaceleración en la tasa de crecimiento del consumo de electricidad y una caída en los últimos años, producto de la crisis económica internacional.

La relación entre la tasa de crecimiento del consumo y la tasa de crecimiento del PBI per cápita refleja mayores valores, en promedio, para los países emergentes que para los desarrollados. Asimismo, para el período 1970-1980 los valores son mayores que para el período 2000-2010, para todos los países y Estados de EE.UU. salvo marcadas excepciones. Esto responde en gran medida al desacople económico, a las políticas de precios y a la eficiencia energética, factores que hacen que la elasticidad del consumo de electricidad respecto a la demanda se vaya haciendo cada vez más inelástica.

También se observó que la década 1980-1990 constituye un período de recesión para las economías en vías de desarrollo, hecho que se refleja en las tasas anuales promedio de crecimiento del PBI per cápita de estas últimas (con la excepción de Colombia y Chile). No obstante, los países emergentes pudieron recuperar la senda del crecimiento, logrando superar las tasas de crecimiento económico de los países desarrollados. Esta dinámica ha generado un correlato en el consumo de energía eléctrica.

Por el contrario, los países desarrollados nunca exhiben tasas de crecimiento negativas, lo cual implica que son economías que se encuentran en constante crecimiento a través de las décadas estudiadas. Sin embargo, el crecimiento de los países desarrollados se ha desacelerado en las últimas décadas, producto de los factores estructurales que caracterizan dicho crecimiento. Esta situación, agravada por la crisis económica internacional, se ha traducido en una desaceleración del incremento promedio del consumo de los países desarrollados.

### 3. MODELOS DE PROYECCIÓN DE DEMANDA ANUAL DE ELECTRICIDAD POR SISTEMA

En Chile existen 4 sistemas eléctricos interconectados:

- El Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) cubre el territorio comprendido entre las ciudades de Arica por el norte y Antofagasta por el sur. En este sistema se encuentra el 28% de la capacidad total instalada en el país. La capacidad instalada es principalmente termoeléctrica (99.1% es generación a base de carbón, fuel, diesel y ciclos combinados a gas natural). La demanda está constituida principalmente por mineros e industriales, no sometidos a regulación de precios según la normativa legal.
- El Sistema Interconectado Central (SIC) se extiende entre la localidad de Taltal en la Segunda Región, hasta la Isla Grande de Chiloé por el sur. Este sistema representa un 71% de la capacidad instalada total del país. La misma es 55% térmica, 43% hidroeléctrica, y el resto eólico y solar. Es el mayor sistema del país, abasteciendo a más del 90% de la población total.
- El Sistema de Aysén atiende el consumo de la Región XI (Aysén). La capacidad instalada es 51% termoeléctrica, 45% hidroeléctrica y el resto eólica. Representa el 0.3% de la capacidad total instalada de Chile. Este sistema está compuesto por los siguientes sistemas medianos (SSMM): Aysén, General Carrera y Palena.
- El Sistema de Magallanes abastece la Región XII (Magallanes y Antártica Chilena). La capacidad instalada es térmica, representando algo menos del 0.7% de la capacidad total en el país. Este sistema está compuesto por los siguientes SSMM: Punta Arenas, Puerto Natales, Puerto Williams y Porvenir.
- Adicionalmente existen otros dos SSMM no interconectados: Cochamó y Hornopirén.

#### 3.1. METODOLOGÍA GENERAL

Considerando la información disponible, se especificaron diversos modelos econométricos que permitan relacionar la demanda de energía eléctrica de cada sistema eléctrico con diversas variables socioeconómicas que, a priori, resulten relevantes para estimar el consumo de electricidad. A partir del resultado de dichas regresiones, se evaluaron una serie de estadísticos de bondad de ajuste y de pronóstico, con el objeto de seleccionar el modelo más adecuado. Los primeros, permiten medir si un modelo es adecuado desde el punto de vista estadístico. Sin embargo, considerando que el objetivo final del presente estudio consiste en el cálculo de proyecciones y no solamente en la estimación de modelos estructurales de demanda, la evaluación de los mismos también debe basarse en la bondad de pronóstico, es decir, en cuan buenos son para proyectar.

Una vez seleccionado el modelo de proyección, es necesaria la construcción de escenarios, basados en la construcción de supuestos o hipótesis sobre la evolución futura de las variables explicativas de dichos modelos.

Finalmente, mediante la construcción de los escenarios y la selección de los modelos de proyección, no queda más que proyectar la variable de interés por el período deseado. Respecto a este último aspecto, cabe indicar que los modelos econométricos son adecuados para pronosticar, como máximo, una cantidad igual de años que aquellos considerados para la estimación de los parámetros del modelo.

Por último, cabe indicar que se construyeron modelos con distinta periodicidad (anual, trimestral y mensual), con el objeto de mejorar la robustez de las estimaciones.

### 3.2. Estimación Sistemas SIC y SING

Para la construcción de los modelos de proyección del consumo de electricidad del SIC y del SING, distintos modelos fueron estimados, y los mejores, desde el punto de vista estadístico, fueron seleccionados a los fines de determinar la proyección futura de los requerimientos de electricidad. Asimismo, la construcción de modelos con distinta periodicidad permitió la comparación de los resultados obtenidos.

La serie proyectada fue la generación bruta de cada sistema. Respecto a esto, cabe indicar que a los fines prácticos, la proyección de la generación es análoga a proyectar el consumo, dado que el despacho de electricidad se realiza en función de los requerimientos de energía eléctrica, es decir, siempre se ajusta a las ventas. La diferencia entre ambas variables son las pérdidas de energía, las cuales de acuerdo a la metodología considerada están incluidas en los modelos de proyección.

#### 3.2.1. INFORMACIÓN UTILIZADA

En concreto, los datos de generación del SIC provistos por la CNE se componían de dos series de tiempo. La primera de ellas, contenía información mensual desde 1980 a 2007, mientras que la segunda se componía de datos diarios desde 1996 a julio del 2014. Por medio del empalme de las series, fue posible la construcción de tres series de tiempo, con distinta periodicidad cada una:

- Serie Anual: compuesta por datos anuales desde 1980 a 2013 (34 observaciones);
- Serie Trimestral: incluye datos trimestrales desde el primer trimestre de 1980 al segundo trimestre de 2014 considerando un período calendario de enero a diciembre (138 observaciones); y
- Serie mensual: incluye datos a paso mensual desde enero de 1980 a julio del 2014 (415 observaciones).

La construcción de las series de generación del SING fue realizada de manera análoga. Sin embargo, la información provista por la CNE contaba con una cantidad de observaciones inferior:

- Serie Anual: compuesta por datos anuales desde 1988 a 2013 (26 observaciones);
- Serie Trimestral: incluye datos trimestrales desde el primer trimestre de 1999 al segundo trimestre de 2014 considerando un período calendario de enero a diciembre (62 observaciones); y
- Serie mensual: incluye datos a paso mensual desde enero de 1999 a julio del 2014 (187 observaciones).

Si bien la cantidad de observaciones relevadas para el SING es inferior a las del SIC, lo cierto es que el largo de las series es suficiente para la construcción de modelos estadísticamente significativos.

Utilizando a la teoría económica y la literatura relevada como fundamento teórico, se decidió testear distintas variables a los fines de elegir aquellas variables que permitan explicar los factores determinantes de la generación bruta de electricidad. Se priorizó la recopilación de información regional a los fines de armar modelos estadística y empíricamente coherentes. La recopilación de dicha información, a paso anual, requirió relevar distintas fuentes de información tanto para el SIC como para el SING. Entre estas se encuentra la base de datos del Banco Central de Chile (BCC), el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE) y la base de datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE). Independientemente de ello, las variables analizadas pueden agruparse en tres grupos: actividad económica, población y precios.

Es claro que la actividad económica representa una variable de importancia para entender la

evolución del consumo de electricidad. Por lo tanto, el Producto Bruto Regional (PBR) fue la primera variable considerada. Dicha variable, a pesos constantes, y por sector económico es publicada anualmente por el Banco Central de Chile.

La construcción de la serie de PBR para cada sistema (SIC y SING) fue realizada considerando las regiones abastecidas por cada sistema eléctrico. Dada la ubicación geográfica del SIC fueron consideradas todas aquellas regiones que se encuentran entre la Región III (Atacama) y la Región X (Los Lagos). La Región XIV (Los Ríos) fue delimitada relativamente hace poco tiempo, por lo que se incorporó al análisis del SIC.

De modo similar, las regiones consideradas a los fines de construir la serie de PBR real de la zona de influencia del SING corresponden a las Región I (Tarapacá) y Región II (Antofagasta). El SING también opera sobre la Región XV (Arica y Parinacota), por lo que la misma fue incorporada al análisis.

También se analizó el producto bruto, en términos constantes, del sector minero y de la industria manufacturera. Estos dos sectores son muy importantes dentro de la estructura productiva, al mismo tiempo que son sectores electrointensivo; así como datos trimestrales del PBI a precios constantes publicado por el Banco Central de Chile.

Los datos de población regional son publicados con periodicidad mensual por el INE, para cada grupo etario y por región. Dicha información se encuentra disponible para el período 1990 a 2020 (24 observaciones históricas y 7 años de proyección). Dada la disponibilidad de los datos con los que trabaja el Instituto de Estadísticas, se considera que las proyecciones realizadas por la institución son muy confiables y deben ser incorporadas al estudio. Asimismo, la construcción de la población dentro de la zona de operación de cada sistema eléctrico fue realizada agregando las regiones involucradas y tomando el total poblacional.

También se recopiló información del nivel de actividad trimestral por regiones, específicamente del Índice de Actividad Económica Regional (INACER) publicado trimestralmente por el INE.

A paso mensual fue analizado el Índice Mensual de Actividad Económica (IMACEC) publicado mensualmente por el Banco Central de Chile.

Otra variable analizada fue el precio de la electricidad. La fijación del precio de la energía del SIC es publicada en términos reales por la CNE desde octubre de 1982 a marzo del 2014, incluyendo las distintas indexaciones. Asimismo, la CNE posee los datos del precio medio de energía de largo plazo en términos reales desde enero del 2010 a julio del 2014. Por lo tanto, se construyó la serie de precios  $-\$/KWh$  deflactados- a partir del precio de la energía en el nodo Alto Jahuel, pero a partir del 2010 fue utilizado el precio medio de largo plazo.

Respecto al SING, la CNE publica periódicamente el precio medio  $-\$/KWh-$  del nudo de Crucero desde abril de 1991 a marzo del 2014. Asimismo, se recibió de la CNE datos del precio medio de largo plazo deflactados desde enero del 2012 a julio del 2013. A partir de ambas series fue posible la construcción de una serie única desde abril 1991 a julio del 2014.

El precio del cobre, de gran relación con la actividad industrial y minera, debe ser considerado en el análisis. El precio catado grado A en dólares corrientes por tonelada métrica, fue provisto por la CNE, que a su vez lo obtuvo de LME Spot Price, CIF European ports. Dado que el análisis requiere la utilización de variables reales, el mismo fue deflactado por el Índice de Precio del Productor (PPI) publicado por el U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS). De este modo, se construyó una serie en términos reales desde 1985 a 2013 (29 observaciones).

Otras variables fueron relevadas aunque no utilizadas en la estimación de los modelos. Por ejemplo, el precio del gas natural a los usuarios finales, corresponde un sustituto energético que debería ser incluido en el análisis. Sin embargo, en la base de datos de la CNE, se

publica de manera mensual, desde enero del 2000 a junio de 2014, el precio del gas a usuarios finales por región, tipo de consumo, empresa distribuidora y región del país. En este contexto, los pocos datos disponibles impidieron su utilización.

Cabe indicar que también se relevaron las cifras de empleo, por región del país, que son publicadas mensualmente por el INE desde 1986 hasta junio del 2014. Utilizando un método análogo al de población, fueron construidas las series de Población Económicamente Activa (PEA), Fuerza Laboral, Empleados y Desocupados de las zonas de interés. Sin embargo, el efecto que estas variables tiene sobre el consumo de electricidad se encuentra captado en los indicadores de población y actividad económica elegidos, que parecerían ser más adecuados desde la perspectiva teórica.

### 3.2.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Utilizando la información descrita con anterioridad se simularon un total de 17 modelos por sistema interconectado.

Se observa que la actividad económica es siempre una variable importante al momento de estimar el consumo de electricidad.

A partir del resultado de dichas estimaciones, aquellos modelos con peor bondad de ajuste fueron descartados.

Adicionalmente, considerando que el objetivo del estudio es proyectar el consumo de electricidad, también se buscó una especificación adecuada en términos de estadísticos de bondad de predicción. Entonces, de los modelos seleccionados de acuerdo a la bondad de ajuste se analizaron los indicadores de bondad de predicción buscando que el error de predicción sea bajo en términos de GWh y no se caiga en un sesgo de proyección. En consecuencia, se descartaron aquellos modelos con baja bondad de predicción.

A partir de la selección de los modelos, y la construcción de escenarios fue posible la proyección del consumo de electricidad por sistema eléctrico para el período 2014-2028. El horizonte de tiempo fue elegido en base a la cantidad de años históricos disponibles: en efecto, los modelos econométricos requieren que la cantidad de años a proyectar sea al menos igual –nunca mayor– que la cantidad de observaciones históricas consideradas en la estimación de los parámetros.

La utilización de distintos modelos, con distintas periodicidades, permitió la construcción de tres escenarios por sistema eléctrico. En la Tabla 1 se presentan los resultados:

TABLA 1 PROYECCIÓN GENERACIÓN ELÉCTRICA SIC Y SING (GWh), 2014-2044

Año	Escenarios SIC			Escenarios SING		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
2014	53,146	52,638	52,638	18,070	17,957	17,844
2015	55,655	54,738	54,687	19,061	18,860	18,658
2016	58,489	57,157	56,893	20,084	19,797	19,510
2017	61,688	59,891	59,299	21,173	20,787	20,400
2018	65,235	62,863	61,871	22,318	21,824	21,330
2019	69,120	66,044	64,583	23,516	22,910	22,304
2020	73,326	69,385	67,424	24,766	24,044	23,321
2021	77,838	72,870	70,369	26,016	25,201	24,385
2022	82,648	76,493	73,402	27,289	26,393	25,498
2023	87,750	80,246	76,518	28,583	27,623	26,662
2024	93,141	84,116	79,709	29,897	28,887	27,878
2025	98,817	88,108	82,964	31,224	30,187	29,150
2026	104,779	92,199	86,282	32,561	31,521	30,481
2027	111,027	96,415	89,646	33,905	32,888	31,871
2028	117,561	100,728	93,070	35,253	34,290	33,326

Año	Escenarios SIC			Escenarios SING		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
<b>Tasas anuales acumulativas</b>						
<b>Histórico</b>	<b>5.9%</b>	<b>5.9%</b>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.8%</b>
<b>Proy. 2014-2028</b>	<b>5.8%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.2%</b>	<b>4.9%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.6%</b>

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

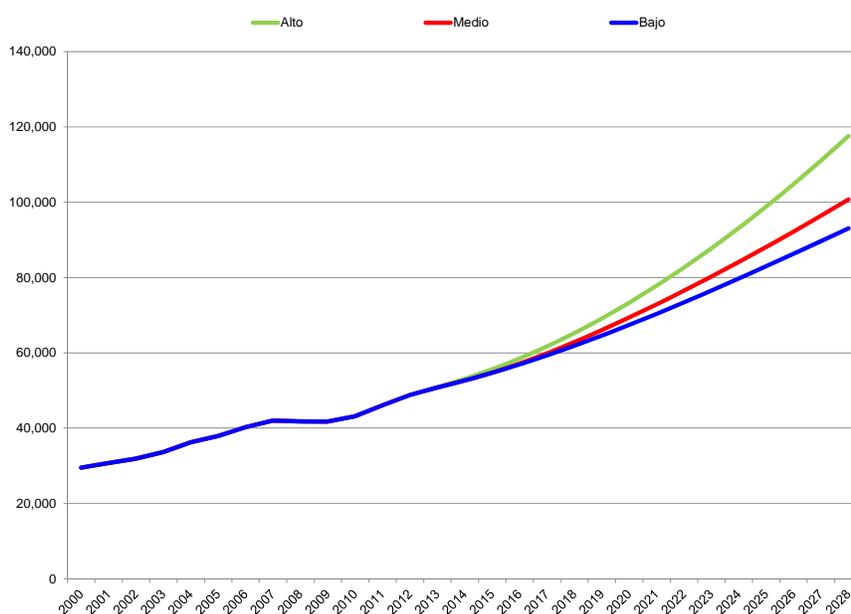
Es importante mencionar, que la utilización de distintos modelos con poco error estadístico de proyección implica que las desviaciones en términos de GWh respecto a los futuros valores observados son muy bajas. Por lo tanto, el promedio, asimismo, corresponderá a la recta de mejor ajuste con poco error de pronóstico.

En la Tabla 1 se observa que el crecimiento proyectado para el SIC es superior al del SING en todos los escenarios, a excepción del escenario bajo. Nótese que la industria minera es el principal agente consumidor de energía eléctrica en el área de influencia del SING. Esta industria se caracteriza por ser menos flexible a los cambios coyunturales.

Asimismo, se observa una desaceleración en el crecimiento promedio del consumo de electricidad. Esta situación es consistente a lo explicado en la primera parte de este trabajo.

En la Gráfica 3 se presenta la evolución temporal del consumo de electricidad en GWh del SIC, por escenario, para el período 2000 a 2028:

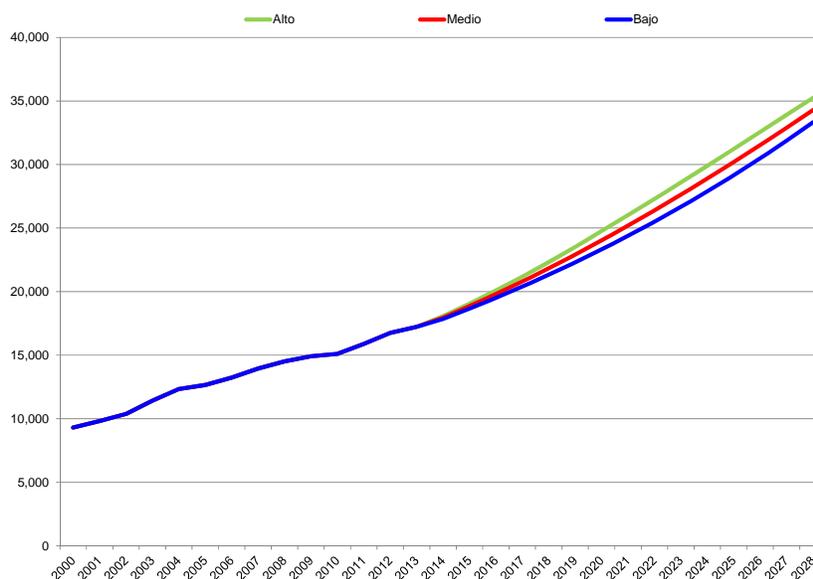
GRÁFICO 3 EVOLUCIÓN CONSUMO SIC (GWH), 2000-2028



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A CNE, BCC E INE

En la Gráfica 4 se presenta la evolución temporal del consumo de electricidad en GWh del SING, por escenario, para el período 2000 a 2028:

GRÁFICO 4 EVOLUCIÓN CONSUMO SING (GWH), 2000-2028



FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

### 3.3. ESTIMACIÓN SISTEMAS MEDIANOS

#### 3.3.1. INFORMACIÓN UTILIZADA

Con el objetivo de proyectar el consumo eléctrico para los nueve sistemas medianos se ha utilizado la siguiente información:

- Información enviada oportunamente por la CNE correspondiente al archivo “*generación bruta.rar*”.
- Información referente a los sistemas medianos a la cual el consultor tenía acceso gracias a un trabajo anteriormente preparado para la CNE. Se utilizaron ambas fuentes de información debido a que los períodos de tiempo disponibles para las variables analizadas en el archivo “*generación bruta.rar*” muchas veces resultaban muy estrechos, imposibilitando la realización de un análisis econométrico correcto.
- Información referente al PBI por Región, obtenida de la base de datos del Banco Central de Chile.
- Información referente a la población por Región, obtenida de la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.
- Información referente a la población por Comunas, obtenida de la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.
- Información referente al Índice de Actividad Económica Regional (INACER), obtenido de la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.

A continuación se detallan las variables estudiadas y los períodos de tiempo disponibles para cada una de ellas:

- Variable explicada: Generación bruta (MWh)
  - Sistema Punta Arenas: 1998-2013, a paso anual.
  - Sistema Puerto Natales: 1999-2013, a paso anual.

- Sistema Porvenir: 2004-2013, a paso anual.
- Sistema Puerto Williams: 2003-2013, a paso anual.
- Sistema Aysén: 1999-2013, a paso anual.
- Sistema General Carrera: 1999-2013, a paso anual.
- Sistema Palena: 1999-2013, a paso anual.
- Sistema Hornopirén: 2000-2013, a paso anual.
- Sistema Cochamó: 2000-2013, a paso anual.
- Variable explicativa n°1: PBI por Región (millones de pesos constantes)
  - Región X (Los Lagos): 1996-2013, a paso anual.
  - Región XI (Aysén): 1996-2013, a paso anual.
  - Región XII (Magallanes): 1996-2013, a paso anual.
- Variable explicativa n°2: Población por Región
  - Región X (Los Lagos): 1990-2020, a paso anual.
  - Región XI (Aysén): 1990-2020, a paso anual.
  - Región XII (Magallanes): 1990-2020, a paso anual.
- Variable explicativa n°3: Población por Comunas
  - Sistema Punta Arenas: Comuna Punta Arenas, 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Puerto Natales: Comuna Natales, 1990-2020, a paso a anual.
  - Sistema Porvenir: Comuna Porvenir, 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Puerto Williams: Comuna Cabo de Hornos, 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Aysén: Comunas Aysén, Coihaique y Puerto Ibáñez; 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Carera: Comunas Chile Chico y Cochrane; 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Cochamó: Comuna Cochamó, 1990-2020, a paso anual.
  - Sistema Hornopirén: Comuna Hualaihué, 1990-2020, a paso anual.
- Variable explicativa n°4: INACER
  - Región X (Los Lagos): 1997-2024, a paso trimestral
  - Región XI (Aysén): 1997-2014, a paso trimestral
  - Región XII (Magallanes): 1994-2014, a paso trimestral.

### 3.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Con el objetivo de obtener el modelo que mejor proyecte el consumo eléctrico de cada uno de los sistemas medianos, se han estimado diferentes especificaciones para cada uno de ellos.

En particular, se han propuesto ocho especificaciones distintas, todas en logaritmo natural, donde intervienen las siguientes variables explicativas:

- Producto Bruto Interno Regional
- Población Regional
- Población Comunal

- INACER
- Tendencia de la serie
- Variable rezagada un período de la variable explicada (término autorregresivo de orden 1).

Al igual que en el caso de los modelos para el SIC y el SING, la selección del modelo se basó en los estadísticos de bondad de ajuste y de bondad de predicción. Para el caso del Sistema Puerto Williams no se ha utilizado métodos econométricos debido a que la alta volatilidad de la serie histórica no lo permite.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos:

**TABLA 2 PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO SISTEMAS MEDIANOS (MWH), 2014-2028**

Año	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Puerto Williams	Aysén	Carrera	Palena	Hornopirén	Cochamó
2014	242,387	32,222	23,580	3,984	142,178	10,093	9,004	14,608	5,507
2015	251,358	34,305	26,849	4,049	148,334	10,596	9,529	15,507	6,098
2016	260,779	36,522	30,353	4,114	153,591	11,032	10,128	16,597	6,753
2017	270,703	38,883	32,719	4,179	159,024	11,521	10,784	17,890	7,479
2018	281,154	41,396	34,723	4,245	164,564	11,957	11,486	19,373	8,282
2019	292,157	44,072	38,516	4,310	170,182	12,429	12,236	21,040	9,172
2020	303,733	46,921	39,638	4,375	175,981	12,909	13,032	22,884	10,157
2021	315,899	49,954	41,723	4,440	182,057	13,408	13,877	24,901	11,248
2022	328,676	53,183	44,068	4,506	188,425	13,931	14,773	27,092	12,456
2023	342,084	56,621	46,879	4,571	195,100	14,482	15,725	29,460	13,794
2024	356,143	60,281	50,193	4,636	202,100	15,064	16,734	32,008	15,275
2025	370,874	64,177	54,095	4,702	209,442	15,680	17,806	34,743	16,916
2026	386,299	68,326	58,684	4,767	217,144	16,332	18,943	37,670	18,733
2027	402,438	72,742	64,080	4,832	225,228	17,024	20,150	40,796	20,745
2028	419,313	77,444	70,433	4,897	233,714	17,758	21,431	44,129	22,973
<b>Tasas anuales acumulativas</b>									
<b>Hist. 2004-2013</b>	<b>3.7%</b>	<b>6.7%</b>	<b>10.2%</b>	<b>1.1%</b>	<b>3.9%</b>	<b>6.1%</b>	<b>2.8%</b>	<b>20.4%</b>	<b>15.5%</b>
<b>Proy. 2014-2028</b>	<b>4.0%</b>	<b>6.5%</b>	<b>8.1%</b>	<b>1.5%</b>	<b>3.6%</b>	<b>4.1%</b>	<b>6.4%</b>	<b>8.2%</b>	<b>10.7%</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INE

La Tabla 2 muestra que el Sistema Mediano Cochamó es aquel que exhibe una tasa de crecimiento proyectada más alta. Por el contrario, el Sistema Mediano Puerto Williams es aquel que menos crece dentro del horizonte de proyección. Es importante mencionar que el único sistema con tasas de crecimiento proyectadas para el período 2014-2028 superior al 10% es Cochamó.

### 3.4. CONCLUSIONES

En esta sección fue proyectado el consumo anual por sistema. Para lo mismo fue considerado el consumo histórico por sistema, y analizando la estructura temporal de cada serie de tiempo y su relación propia con distintas variables fueron construidos distintos modelos económicos para pronosticar el consumo eléctrico por sistema.

Toda proyección se sustenta en la construcción de escenarios futuros. Se obtuvieron las siguientes proyecciones de consumo eléctrico por sistema eléctrico y para un horizonte de mediano plazo.

TABLA 3 RESUMEN DE PROYECCIONES (GWH)

Año	Escenarios Alto		Escenarios Medio			Escenarios Bajo	
	SIC	SING	SIC	SING	Sistemas Medianos	SIC	SING
2014	53,146	18,070	52,638	17,957	484	52,638	17,844
2015	55,655	19,061	54,738	18,860	507	54,687	18,658
2016	58,489	20,084	57,157	19,797	530	56,893	19,510
2017	61,688	21,173	59,891	20,787	553	59,299	20,400
2018	65,235	22,318	62,863	21,824	577	61,871	21,330
2019	69,120	23,516	66,044	22,910	604	64,583	22,304
2020	73,326	24,766	69,385	24,044	630	67,424	23,321
2021	77,838	26,016	72,870	25,201	658	70,369	24,385
2022	82,648	27,289	76,493	26,393	687	73,402	25,498
2023	87,750	28,583	80,246	27,623	719	76,518	26,662
2024	93,141	29,897	84,116	28,887	752	79,709	27,878
2025	98,817	31,224	88,108	30,187	788	82,964	29,150
2026	104,779	32,561	92,199	31,521	827	86,282	30,481
2027	111,027	33,905	96,415	32,888	868	89,646	31,871
2028	117,561	35,253	100,728	34,290	912	93,070	33,326
<b>Tasas anuales acumulativas</b>							
<i>Histórico</i>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>
<i>Proy. 2014-2028</i>	<b>5.8%</b>	<b>4.9%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.6%</b>	<b>4.2%</b>	<b>4.6%</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A CNE, BCC E INE

Tal como puede apreciarse, se proyecta una tasa de crecimiento del consumo de electricidad del SING y SIC para el período considerado inferior al crecimiento histórico, con excepción del escenario alto del SING. Nótese que la crisis económica internacional significó un crecimiento económico promedio inferior.

De todos modos, en el período proyectado se produce una desaceleración en la tasa de crecimiento del consumo de electricidad. Esta misma responde a una caída en el crecimiento poblacional, del nivel de actividad y un desacople económico –explicado en la primera parte de este trabajo-.

El valor proyectado de los Sistemas Medianos ha sido obtenido como la suma de las proyecciones individuales presentadas.

Por último, cabe indicar que en este capítulo se presentan las proyecciones econométricas las cuales, debido a las ya mencionadas restricciones asociadas al tamaño de la muestra histórica, permiten obtener estimaciones hasta el año 2028.

Posteriormente se definen proyecciones de ventas de electricidad considerando un horizonte de 30 años, de acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia, las cuales incorporan asimismo distintas consideraciones, tales como posibles ahorros de consumos asociados a la implementación de políticas energéticas y expansiones y nuevos proyectos industriales de alto consumo eléctrico esperado. Las mismas se presentan en el 22.

#### 4. POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SUS EFECTOS EN EL CONSUMO ELÉCTRICO

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto mejorar la utilización de la energía eléctrica manteniendo los mismos servicios energéticos, evitando reducir el confort y la calidad de vida, asegurando el abastecimiento, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad. El uso eficiente de la energía implica reducir la cantidad de energía eléctrica consumida, o bien, desplazarla de la hora de mayor consumo del sistema, aumentar el uso de energías más eficientes y disminuir la cantidad de combustibles que se utilizan, pero siempre conservando la calidad y el acceso a la misma.

Es importante tener en cuenta que el concepto de eficiencia energética no debe asociarse exclusivamente con ahorrar energía, dado que esto último podría lograrse reduciendo o dejando de realizar determinadas actividades, lo que conlleva a un menor bienestar social. Tampoco debe entenderse la eficiencia energética como una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional. La energía renovable es un tipo de fuente de energía, mientras que la eficiencia energética es un análisis de todo el sistema.

En este contexto, la eficiencia energética debe ser interpretada a partir dos pilares de acción:

- **Eficiencia energética por el lado de la demanda:** comprende una serie de acciones y prácticas dirigidas a reducir la demanda de electricidad y/o intentar desviar la demanda de las horas de punta a horas de menor consumo.
- **Eficiencia energética por el lado de la oferta:** consiste en un conjunto de medidas adoptadas para garantizar la eficiencia a lo largo de la cadena de suministro, y fomentar la utilización de fuentes energéticas más eficientes -aquellas fuentes con un menor consumo de Kcal por KW producido-.

La gestión de la demanda (políticas DSM, por sus siglas en inglés) se ha visto tradicionalmente en la literatura internacional como un medio para aumentar la eficiencia energética con el objetivo principal de que las empresas públicas puedan retrasar las inversiones en la ampliación de capacidad del sistema eléctrico.

El carácter de estas medidas puede ser muy variado, destacándose en primer lugar la conservación de la energía. Este concepto implica el menor uso de un recurso, produciendo un cambio que puede ser de corta duración o puede ser incorporado al estilo de vida de los usuarios. En términos generales, es un término que se refiere a la instalación de tecnologías eficientes, la eliminación de las pérdidas de energía en los sistemas existentes, o bien el cambio de comportamientos. El objetivo principal de la eficiencia energética es mantener un nivel comparable de servicio, pero reduciendo el consumo de energía.

Por el otro lado, las políticas DSM pueden tener como objetivo generar respuestas en la demanda de electricidad. Estas políticas se encuentran relacionadas a las señales que proporcionan al mercado eléctrico los precios de la energía. En respuesta a esto, los usuarios pueden:

- reducir el consumo global de energía mediante la promoción de equipos de alta eficiencia, modificación en los patrones de consumo, entre otros; y/o
- lograr reducciones en la carga al cambiar los patrones de consumo de energía de los consumidores finales, sobre todo en los momentos de demanda máxima, reduciendo las fallas del sistema eléctrico, así como retrasando temporalmente inversiones.

El análisis realizado se ha centrado en el ahorro energético, dado el objetivo principal de este estudio.

Ahora bien, todo ahorro energético producto de la implementación de políticas de gestión de

demanda, es consecuencia de lo que se denomina “desacople económico”. Este proceso implica que la relación entre el Producto Bruto Interno (PBI) per cápita y la demanda de electricidad no es constante a lo largo del tiempo, sino que puede variar produciendo cambios estructurales en las series de consumo. La llamada desmaterialización de las economías se refiere al desacople entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico. En consecuencia, si todas las demás variables que influyen sobre el consumo eléctrico se mantienen constantes, a medida que cae la elasticidad ingreso de la demanda de electricidad se generaría un ahorro energético respecto a un valor no observado.

La estimación del ahorro implica realizar el análisis en condiciones *ceteris paribus* (situación de control), es decir, considerando que todas las demás variables que puedan impactar en el consumo, no varían; de forma tal que toda la reducción del consumo eléctrico está explicada por la política DSM. Esta situación tiene una limitación práctica clara, que reside en que los datos observados son valores *ex-post* donde confluyen distintas dinámicas subyacentes. Es decir, que el concepto de eficiencia posee ciertas particularidades propias, y exige una complementariedad con todo el *set* de políticas energéticas, ya que en muchos casos puede ocurrir que existan conflictos de objetivos con otras políticas; o bien que el mismo programa DSM no se encuentre bien diseñado. Por lo tanto, los métodos empleados para el cálculo de ahorro energético estarán condicionados al contexto particular de cada país.

En conclusión, el concepto de eficiencia energética debe ser abordado con cuidado, teniendo en cuenta el carácter multivariado del mismo. En rigor, una visión completa implicaría comprender que otras dinámicas o políticas pueden estar afectando el consumo eléctrico al momento de analizar los efectos de las políticas de eficiencia energética tendientes a reducir el consumo de electricidad.

#### **4.1. ANÁLISIS DEL EFECTO DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONSUMO**

##### **4.1.1. METODOLOGÍA UTILIZADA**

El análisis realizado implicó, en primer lugar, determinar los efectos de las políticas de eficiencia energética en el consumo eléctrico para diversos países, lo cual incluyó el relevo de información sobre las políticas existentes y en vías de desarrollo en la materia. El análisis se focalizó en políticas que incentiven la eficiencia energética desde el lado de la demanda, y en concreto, las tendientes a reducir de la demanda de electricidad. Estas políticas en su conjunto podrían generar, como fue explicado anteriormente, un desacople económico, compensando el crecimiento de la demanda de energía, y un eventual ahorro energético. Por lo tanto, en segundo lugar se extrapolaron los resultados obtenidos del análisis anterior para el caso de Chile.

De esta forma se recopiló información sobre las políticas de eficiencia energética sobre el nivel de consumo de electricidad y su evolución futura, en particular, las relacionadas a la gestión de la demanda. Con este objetivo, se conformó una muestra de países, compuesta por:

- Holanda
- Estados Unidos
- México
- Brasil
- Uruguay

La selección de países incluye la elección de dos países pertenecientes a los denominados desarrollados, y tres países en vías de desarrollo. La heterogeneidad de la muestra permite comparar los resultados, vinculándolos con las distintas características estructurales y contextos económicos que cada bloque de países enfrenta. Del conjunto de posibilidades,

se eligieron aquellos que se han destacado por las políticas implementadas en el último tiempo, así como la disponibilidad de fuentes de información clara y concreta.

Asimismo, se analizó el caso particular del Estado de California, el cual se ha destacado por los programas DSM implementados. La selección de este estado se justifica en las características propias -estructura productiva, geografía y clima- que lo vuelven comparable con la economía chilena.

El estudio de las políticas de gestión de la demanda a partir de la muestra de países se ha realizado en base a dos enfoques. El primero de ellos corresponde al desacople económico de la demanda, entendido este último como un cambio estructural en la serie de tiempo de consumo, afectando principalmente la elasticidad ingreso de la misma. Las políticas de gestión de demanda, como ya ha sido explicado, pueden generar una caída de la elasticidad ingreso de la demanda, llevando a menores tasas de crecimiento de largo plazo.

En particular, el análisis implicó identificar, en la medida de lo posible, indicios de la caída relativa en la pendiente de la serie de consumo respecto del crecimiento del producto bruto per cápita, a partir de tests de cambio estructural.

Por el otro lado, el análisis buscó estimar el ahorro en términos de consumo de electricidad, como consecuencia del desacople económico. Estos resultados fueron luego extrapolados a la economía chilena, representando una estimación del potencial ahorro.

Específicamente, considerando la información sobre las políticas de eficiencia energética realizadas en los países seleccionados, se procedió, en primer lugar, a realizar un análisis gráfico de las series de consumo de dichos países con el objeto de identificar la tendencia de las mismas, los posibles cambios estructurales y caídas en la pendiente. Estas podrían ser producto de una mejora en la eficiencia energética por lo que deben estar referenciadas a un año pivote. No obstante, como ya se mencionó, el carácter multivariado del concepto de eficiencia, así como la diversidad de dinámicas que actúan sobre el consumo de electricidad podrían generar dificultades para identificar cambios en las series generados, exclusivamente, por políticas de gestión de demanda.

En segundo lugar, se realizó un test estadístico (denominado Test de Chow) que permite detectar, a partir de un modelo econométrico, si existe o no un cambio estructural en las series analizadas, es decir, si hay evidencia de alteración significativa de los parámetros del modelo a lo largo de la muestra considerada. Dicho test confirma o desmiente una sospecha previa de cambio estructural por parte del modelizador, por lo que es necesario conocer a priori el punto de ruptura o año pivote. Dicho año pivote corresponde, en este análisis, al año de implementación de la norma de eficiencia energética.

Finalmente, se estimó el ahorro energético. Para esto, se simuló un modelo de regresión para el período previo a la implementación de la política o plan de eficiencia energética. La implementación del programa de gestión de demanda, como ya se ha demostrado, genera un cambio estructural. Por lo tanto, la construcción de un modelo pre-pivote permite capturar la estructura que se encontraba vigente previo a la implementación de la política de eficiencia. Luego, a partir de este modelo, se proyectó el consumo de energía eléctrica construyendo una aproximación del consumo no observado.

#### **4.1.2. RESULTADOS**

Sobre la base tanto de la investigación histórica realizada como del análisis gráfico de las series, se ha asignado un año pivote a cada país estudiado, donde se sospecha sobre posible la existencia de un cambio estructural, tal como se puede apreciar en la Tabla 4.

**TABLA 4 AÑOS PÍVOT SELECCIONADOS POR PAÍS**

País	Año Pívor	Justificación de la Elección
<b>México</b>	1990	Creación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y primera implementación de planes de eficiencia energética.
<b>Brasil</b>	1984	Implementación del Programa Brasileño de Etiquetado de Desempeño (PBE), coordinado por el Instituto Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial (INMETRO).
<b>Uruguay</b>	2003	Aprobación del Plan de Eficiencia.
<b>Estados Unidos</b>	1978	Comienzo de implementación de Políticas de Eficiencia energética.
<b>Holanda</b>	1989	Implementación de Planes de Eficiencia Energética en la Industria.
<b>California</b>	2002	Reestructuración de Medidas de Eficiencia Energética.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A INFORMACIÓN HISTÓRICA RECOPIADA

Una vez identificado el año pivót, sobre el cual se sospecha que existe un cambio estructural, se debe analizar estadísticamente si la sospecha es correcta.

El test de Chow permitió corroborar la hipótesis de existencia de un cambio estructural en la serie de consumo.

Es importante remarcar que si bien existe un quiebre estructural en la serie para los distintos años propuestos por país, lo cierto es que este cambio podría ser producto de diversas dinámicas, como puede ser una crisis económica o de otro tipo.

El ahorro energético fue calculado a partir de la comparación entre el valor observado real del consumo de electricidad con la proyección del consumo, a partir del año pivót. Esta metodología, permite mantener las condiciones estructurales de aquel período sin incorporar el efecto de la política de gestión de la demanda. Es importante remarcar que el valor del ahorro energético obtenido de este modo no debe ser asociado a ningún plan individual, sino que determina una estimación de un nivel potencial de ahorro que un país con las mismas condiciones que los países analizados podrían llegar a obtener.

En la Tabla 5 se resumen las principales conclusiones obtenidas del estudio:

**TABLA 5 EFICIENCIA ENERGÉTICA: CONCLUSIONES**

País	Año Pívor	Cambio estructural	Carácter del Cambio	Ahorro Promedio Anual (GWh)	Ahorro (% consumo potencial)
<b>México</b>	1990	Si	Aumento de la Ordenada y Caída de la Pendiente	25,741	9.8%
<b>Brasil</b>	1984	Si	Aumento de la Ordenada y Caída de la Pendiente	103,965	14.3%
<b>Uruguay</b>	2003	Si	Caída de la Ordenada y Aumento de la Pendiente	-388	-4.7%
<b>Estados Unidos</b>	1978	Si	Aumento de la Ordenada y Caída de la Pendiente	1,667,641	21.8%
<b>Holanda</b>	1989	Si	Aumento de la Ordenada y Caída de la Pendiente	28,431	17.7%
<b>California</b>	2002	Si	caída de la Ordenada y Aumento de la Pendiente	12,445	4.5%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Los resultados observados permiten apreciar que el porcentaje de ahorro respecto al consumo potencial alcanza, en los países analizados, un mínimo de 4.5% y un máximo de 21.8%. A saber, estos valores constituyen un rango de potencialidad de ahorro energético para una economía como ha de ser la chilena.

Si promediamos los casos más similares a Chile (Brasil y México, debido a su carácter de economías en vías de desarrollo, y California, debido al tamaño de la economía, el valor promedio alcanza 9.5% de ahorro.

En este contexto, es importante extrapolar los resultados al caso de la economía de Chile a los fines de determinar un ahorro de electricidad en función a lo observado en la muestra constituida por los países seleccionados

## **4.2. EXTRAPOLACIÓN AL CASO DE CHILE**

### **4.2.1. METODOLOGÍA UTILIZADA**

Desde 2006 se han venido reflejando logros en el desarrollo de la eficiencia energética en Chile. Los mismos no solo se refieren a resultados medibles de disminución del consumo de energía eléctrica, sino al desarrollo de programas y acciones en eficiencia energética, elaboración de políticas de largo plazo y crecimiento institucional. De todos modos, los potenciales ahorros energéticos siguen siendo un tema central en el planiamiento futuro de la economía chilena.

En primer lugar, se analizaron los efectos que las políticas descritas con anterioridad han tenido sobre el consumo de electricidad en Chile. Para lo mismo, se efectuó un enfoque análogo al realizado en este capítulo para una muestra de países y estados de Estados Unidos. Para lo mismo, se construyó una base de datos en base a información provista por la CNE y relevada por el consultor. En particular, la información fue obtenida de la International Energy Agency (IEA) y la Organización de las Naciones Unidas (UN, por sus siglas en inglés).

### **4.2.2. RESULTADOS**

El análisis gráfico permitió corroborar que las variaciones en la pendiente son muy suaves, lo que implica pequeños cambios en la relación de largo plazo. De todos modos, de un análisis detallado parecería ser que existe un cambio estructural a partir del año 2003. La revisión bibliográfica describe esta situación como producto de un cambio en la intensidad energética y de la estructura productiva del país. Ahora bien, a partir del año 2006 se observa nuevamente un cambio en la pendiente de la serie pero el mismo parecería ser mas atenuado.

De este modo, del análisis de la evolución temporal de la serie de tiempo así como de la revisión literaria de las distintas políticas, surge la posibilidad de que existan dos años que podría representar un quiebre estructural para la economía chilena. El primero de ellos corresponde al año 2006 mientras que el segundo representa el año 2003.

Una vez identificado los años pivot, sobre los cuales se sospecha que existe un cambio estructural, se analizó estadísticamente si la sospecha es correcta, a partir de un análisis econométrico y de la aplicación del test de Chow.

Se observó que mientras el año 2003 corresponde a un año de cambio estructural, el año 2006 no lo es a los niveles habituales de confianza estadística. Esta situación no significa que el año 2006 no representa el año pivot buscado en nuestro estudio, sino que el cambio estructural no es estadísticamente significativo. Es decir, que las medidas aplicadas a partir de dicho año no serían medidas de gran impacto. En efecto, se observa que si bien desde el año 2006 se produce una caída de la pendiente, la misma no es estadísticamente significativa.

De acuerdo a publicaciones del Ministerio de Energía, se ha producido un cambio en la

estructura del país en el último tiempo, lo que podría estar generando el quiebre observado en el año 2003. En este contexto, se concluye que el año 2003 representa un cambio estructural que no necesariamente es producto de políticas de gestión de demanda.

Del análisis econométrico realizado se concluyó que el ahorro energético logrado hasta el año 2010 en Chile es inferior a lo observado en otras economías emergentes, como Brasil y México. Además, parte de dichas ganancias responde a un cambio de estructura en la economía de Chile: el sector terciario aumentó su participación respecto al secundario. Dado que la intensidad energética de la industria es 15 veces superior que la del sector servicios, se ha generado una caída de la intensidad de entorno al 4%.

En este contexto, existe un mayor potencial de ahorro energético en Chile. Para estimarlo, se extrapolaron los resultados obtenidos del análisis internacional. Para esto se contruyeron seis escenarios de ahorro porcentual. Los mismos han sido contruidos en base a la experiencia de otras economías, las cuales constituyen el valor potencial de convergencia de largo plazo. Asimismo, se ha incorporado el Plan de 2020 como un escenario posible, y un último escenario donde se asume que los niveles de eficiencia logrados hasta el momento se mantienen constantes.

A cada escenario se le asignó una probabilidad de ocurrencia asociada al riesgo y a la viabilidad de aplicar las distintas políticas en la economía de Chile.

A partir de estos escenarios, se construyeron los ahorros potenciales. A partir de los mismos se estimó un ahorro promedio esperado de 9.6% respecto al consumo potencial del año 2029. Este valor es similar al valor promedio estimado a partir de las economías de México, Brasil y California.

En último término, es importante mencionar la Agenda de Energía proyecta un ahorro del 20% a 2025. Efectivamente, dicho valor corresponde al calculado en esta sección de trabajo por medio de una técnica distinta. Sin embargo, la Agenda proyecta un ahorro anual en 2025 de 20,000 GWh, mientras que el cálculo del consultor arroja un valor de 23,488 GWh.

## **5. PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE CLIENTES REGULADOS**

Actualmente, en Chile existen 36 empresas distribuidoras de electricidad que operan en las distintas regiones del país. El mercado que existe dentro del área de concesión puede estar compuesto por dos tipos de clientes: las empresas distribuidoras pueden abastecer tanto a clientes regulados como a clientes libres. Asimismo, hay clientes libres que compran directamente su electricidad a agentes generadores del mercado.

### **5.1.1. METODOLOGÍA UTILIZADA**

Para estimar las ventas de energía eléctrica de los clientes regulados por región, se consideraron modelos econométricos. Al igual que para la estimación de la generación por sistema, se simuló diversas especificaciones de modelos con el objeto de encontrar el más adecuado desde el punto de vista tanto de la bondad de ajuste como de la bondad de predicción.

Por otro lado, dado que el consumo mensual de electricidad viene caracterizado por una marcada estacionalidad, con períodos conocidos como picos o de alto consumo, se determinó la modulación mensual de la demanda considerando modelos ARIMA con la inclusión de variables dummies para determinar los coeficientes de estacionalidad.

### **5.1.2. INFORMACIÓN UTILIZADA**

Se consideró información provista por la CNE de ventas de electricidad desagregada por empresa distribuidora. Desde el año 1999 estas empresas poseen un registro mensual de la energía y potencia vendida, los montos facturados y la cantidad de clientes, diferenciando por tipo de cliente y tramo tarifario.

La información procesada estuvo constituida por dos grupos de datos:

- Período 1999 a 2005: estos corresponde a un archivo por mes y por empresa, donde se detallan tarifas y comunas para clientes regulados y clientes libres, resumiendo toda la información en dos tablas de doble entrada.
- Período 2006 a 2012: estos archivos poseen una metodología distinta a los anteriores, siendo un único archivo anual por empresa donde se agrupa todos los meses del año. Además, solamente se consideran los clientes libres, y no existen archivos resumen.

De esta forma, fue posible construir dos series de ventas de electricidad a clientes regulados (en MWh y pesos chilenos), y una serie de clientes regulados (personas) por región, a paso mensual y para el período comprendido entre los años 1999 a 2012. Esta tarea fue realizada conociendo las comunas sobre las que opera cada empresa distribuidora. En caso que una empresa opere en más de una región, se distribuyeron los valores en función a la participación que cada una de dicha región posee sobre el total de la empresa.

Asimismo, a partir de la información fue posible construir una base de datos análoga a la anterior pero diferenciando por sector económico (residencial, industrial y comercial). Esta tarea fue realizada asociando a cada tipo de tarifa eléctrica con un sector de consumo, lo que se encuentra representado en la **Tabla 6**:

**TABLA 6 TARIFAS ELÉCTRICAS**

Tarifa	Sector
BT1a	Residencial
BT1b	Residencial
BT1c	Residencial
BT2PP	Comercial
BT2PPP	Comercial
BT3PP	Industrial
BT3PPP	Industrial
BT4.1	Industrial
BT4.2	Industrial
BT4.3	Industrial
AT2PP	Comercial
AT2PPP	Comercial
AT3PP	Industrial
AT3PPP	Industrial
AT4.1	Industrial
AT4.2	Industrial
AT4.3	Industrial

**FUENTE: CNE**

De manera análoga a lo comentado en el capítulo 3 de este resumen ejecutivo, se consideraron diversas variables explicativas, en general las mismas que las utilizadas previamente.

Fueron estimados 25 modelos anuales para encontrar aquel que pronostique mejor el consumo de electricidad de los clientes regulados, ya sea por sistema eléctrico, por región o por sector económico. Esta tarea tuvo como objetivo final ampliar el análisis presentado en el capítulo 3, permitiendo hacer una comparación de los resultados, así como profundizar el conocimiento de la demanda de electricidad en Chile y su crecimiento a largo plazo.

Cada uno de los modelos propuestos encuentra su sustento en la teoría económica.

Al momento de estimar los distintos modelos fue necesaria la incorporación de variables *dummy*, en caso de ser necesario, a los fines de reflejar cambios estructurales en las series, o bien, *shocks* exógenos a la evolución de las ventas. En ciertos casos, estos *shocks*

pueden ser explicados, como el terremoto del año 2010. En otros casos, los *shocks* pueden deberse a faltantes de datos u otros problemas con los archivos de origen.

De este modo, diversos modelos han sido propuestos en base a ellos se ha decidido la incorporación de variables *dummy* y/o modificaciones particulares sobre el modelo original propuesto a los fines de encontrar el mejor modelo de proyección.

El planteamiento de modelos incluyó funciones explicativas de las ventas anuales de energía eléctrica por sistema, por región geográfica y por sector económico.

Finalmente, mediante la construcción de escenarios para las variables explicativas y la selección de los modelos de proyección, se proyectó la variable de interés por el período deseado.

### 5.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS

#### Caso Base

En la Tabla 7 se presentan los resultados de las proyecciones por sistema eléctrico, para el período 2013 a 2022 (el horizonte de tiempo fue elegido en base a la cantidad de años históricos disponibles):

TABLA 7 PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO SIC, SING Y SSMM (GWh), 2013-2022

Año	Energía (GWh)		
	SING	SIC	SSMM (XI+XII)
2013	1,585	26,196	390
2014	1,668	27,015	406
2015	1,753	28,073	419
2016	1,838	29,381	433
2017	1,925	30,863	450
2018	2,016	32,447	468
2019	2,110	34,116	488
2020	2,206	35,853	510
2021	2,306	37,652	534
2022	2,407	39,513	560
<b>Tasas anuales acumulativas</b>			
<i>Historico</i>	6.03%	5.32%	4.88%
<i>Proy. 2013-2022</i>	4.75%	4.67%	4.12%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y BCC

En la Tabla 7 se observa un desaceleración de las ventas a clientes regulados de todos los sistemas eléctricos del país, respondiendo a un desacople económico. Además, el crecimiento proyectado para el SIC es inferior al del SING, aunque el segundo muestra una desaceleración mayor. Con respecto a los sistemas medianos, la desaceleración es inferior que lo observado en los demás sistemas.

En la Tabla 8 se presentan los resultados de las proyecciones por región, para el período 2013 a 2022:

**TABLA 8 PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO POR REGIÓN (GWh), 2013-2040**

Año	Energía (Gwh)													
	I Tarapacá	II Antofagasta	III Atacama	IV-V	IV Coquimbo	V Valparaíso	Metro.	VI O'Higgins	VII Maule	VIII Biobío	IX Araucanía	X Los Lagos	XI Aysén	XII Magallanes
2013	741	851	611	3,858	1,074	2,784	12,633	1,912	1,603	2,238	1,011	2,114	136	257
2014	771	909	629	4,015	1,115	2,900	12,886	2,019	1,685	2,324	1,057	2,202	143	262
2015	795	967	649	4,196	1,150	3,046	13,316	2,131	1,743	2,428	1,107	2,294	150	269
2016	814	1,026	671	4,392	1,183	3,209	13,849	2,244	1,801	2,543	1,158	2,385	157	276
2017	832	1,089	697	4,607	1,221	3,386	14,438	2,361	1,860	2,666	1,212	2,479	165	285
2018	848	1,154	726	4,829	1,258	3,571	15,052	2,482	1,920	2,796	1,267	2,575	173	295
2019	862	1,221	757	5,060	1,295	3,765	15,692	2,608	1,982	2,930	1,324	2,673	182	306
2020	874	1,291	790	5,299	1,332	3,967	16,350	2,739	2,044	3,070	1,382	2,774	191	319
2021	886	1,365	824	5,546	1,370	4,176	17,025	2,874	2,108	3,214	1,443	2,877	201	333
2022	898	1,432	859	5,783	1,408	4,376	17,716	3,000	2,153	3,354	1,494	2,963	211	349
	<b>Tasas anuales acumulativas</b>													
<b>Historico*</b>	5.3%	6.7%	6.6%	4.9%	2.4%	2.4%	4.2%	6.7%	6.4%	5.1%	5.3%	6.6%	5.8%	4.4%
<b>Proy. 2013-2022</b>	2.1%	6.0%	3.9%	4.6%	3.1%	5.2%	3.8%	5.1%	3.3%	4.6%	4.4%	3.8%	5.0%	3.5%

\*PARA LAS REGIONES IV, RM, VI, VII, VIII, IX Y X SE CALCULO EL PERÍODO 2006 A 2012 DEBIDO A FUERTES CAMBIOS ESTRUCTURALES.

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y BCC

En la Tabla 8 se observa, por un lado, una desaceleración generalizada en el crecimiento esperado de la demanda de electricidad respecto del valor histórico. Esta situación responde, en primera medida, a una desaceleración económica a medida que se converge al largo plazo. En segundo lugar, los supuestos sobre población incentivan este efecto. En tercer lugar, existe un desacople económico en las economías regionales.

Una mención especial exige las regiones IV (Coquimbo) y V (Valparaíso). Del análisis histórico se observa que parecería existir una reasignación de clientes entre ambas regiones. Esta situación podría responder a una fusión entre empresas o bien a un cambio metodológico en el modo de contabilizar los ingresos de explotación. Por lo tanto, se expone en la Tabla 8 la suma de ambas regiones a los fines de analizar la evolución conjunta de las mismas.

Aún más, se observa en la Tabla 8 que el crecimiento promedio esperado de las regiones centrales para el período 2013 a 2022 es mayor que el esperado para las regiones de los extremos norte y sur del país. Esta situación responde a una doble dinámica: en primer lugar, en el centro del país la demanda de electricidad viene explicada por el producto bruto y el nivel población lo que permite retroalimentar los efectos sobre el consumo de electricidad. Por su parte, en los extremos norte y sur la demanda es más rígida al alza, siendo inelástica a la variación del precio del cobre y presentando una tasa de crecimiento poblacional inferior a la de las regiones centrales.

Finalmente, en la Tabla 9 se presentan los resultados de las proyecciones por sector económico:

**TABLA 9 PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO POR SECTOR ECONÓMICO, 2013-2022**

Año	Energía (GWh)		
	Sector Residencial	Sector Comercial	Sector Industrial
<b>2013</b>	11,358	1,087	15,951
<b>2014</b>	11,594	1,083	16,798
<b>2015</b>	11,996	1,078	17,781
<b>2016</b>	12,496	1,074	18,989
<b>2017</b>	13,048	1,070	20,409
<b>2018</b>	13,626	1,065	21,992
<b>2019</b>	14,228	1,061	23,724
<b>2020</b>	14,848	1,056	25,588
<b>2021</b>	15,485	1,052	27,578
<b>2022</b>	16,140	1,047	29,694
<b>Tasas anuales acumulativas</b>			
<b>Historico</b>	4.40%	0.01%	6.86%
<b>Proy. 2014-2020</b>	3.98%	-0.42%	7.15%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y BCC

Tal como puede verse en la Tabla 9, las tasas proyectadas tanto para el sector residencial como para el sector comercial son menores que las tasas históricas, lo cual implica una desaceleración en el crecimiento de las ventas de energía en ambos sectores. Sin embargo, es importante destacar que si bien ambos sectores desaceleran su crecimiento, las tasas proyectadas para el sector residencial son positivas, lo cual implica que las ventas en MWh de este sector crecen durante los períodos proyectados.

Ahora bien, la Tabla 9 muestra que el sector industrial exhibe tasas proyectadas en el período 2013 a 2022 mayores a la tasa histórica, lo cual refleja una aceleración del crecimiento de las ventas de este sector. Esta situación responde a una demanda más elástica respecto al producto, ya que dado el mismo nivel de crecimiento económico que el sector residencial, el consumo aumenta en una mayor proporción.

## **Sensibilidades**

Las proyecciones econométricas dan como resultado el valor medio de una distribución de probabilidad. Es decir, que las proyecciones presentadas más arriba corresponden a estimaciones estocásticas del consumo de electricidad. Ahora bien, las curvas de probabilidades obtenidas dependen, por un lado, del modelo de proyección seleccionado. Por otro lado, las proyecciones dependen del escenario construido. En este contexto, dimensionar los efectos y desvíos del valor esperado frente a un cambio en uno de los supuestos del escenario, es una herramienta útil para tomar noción de la variabilidad y sensibilidad de las proyecciones.

En este contexto se buscó sensibilizar la demanda de electricidad sistémica al desempeño de los sectores económicos del país, en base a tres escenarios de desarrollo económico definidos por la CNE. En la Tabla 10 se presentan los escenarios considerados para sensibilizar el consumo de electricidad por sistema eléctrico:

**TABLA 10 ESCENARIOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO, 2013-2022**

Año	Caso Bajo	Caso Base	Caso Alto
2013	2.45%	3.45%	4.45%
2014	1.00%	2.00%	3.00%
2015	2.34%	3.34%	4.34%
2016	3.00%	4.00%	5.00%
2017	3.25%	4.25%	5.25%
2018	3.25%	4.25%	5.25%
2019	3.25%	4.25%	5.25%
2020	3.19%	4.19%	5.19%
2021	3.12%	4.12%	5.12%
2022	3.06%	4.06%	5.06%
Promedio	2.79%	3.79%	4.79%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

A partir de esto tres casos, se han proyectado aquellos modelos sistémicos, por región y por sector económico que incluyen al producto bruto como variable explicativa. En la Tabla 11 se presenta los resultados de las proyecciones del SIC, utilizando los distintos escenarios de crecimiento económico:

**TABLA 11 SENSIBILIDAD CRECIMIENTO: SIC, 2013-2022**

Año	SIC (GWh)		
	Bajo	Base	Alto
2013	25,976	26,196	26,416
2014	26,509	27,015	27,526
2015	27,250	28,073	28,913
2016	28,211	29,381	30,587
2017	29,314	30,863	32,478
2018	30,485	32,447	34,514
2019	31,708	34,116	36,682
2020	32,962	35,853	38,966
2021	34,242	37,652	41,365
2022	35,545	39,513	43,879
<b>Tasas anuales acumulativas</b>			
<b>Historico</b>	5.32%	5.32%	5.32%
<b>Proy. 2013-2022</b>	3.55%	4.67%	5.80%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

Tal como puede observarse en este caso, la diferencia entre las tasas de crecimiento promedio asociadas a cada uno de los escenarios es mayor a la unidad. Esta situación refleja una elevada sensibilidad del consumo eléctrico del SIC con respecto al producto bruto, por lo que podemos decir que es elástico al ingreso.

En la Tabla 12 se presenta los resultados de las proyecciones del sector residencial e industrial, utilizando los distintos escenarios de crecimiento económico:

**TABLA 12 SENSIBILIDAD CRECIMIENTO: RESIDENCIAL E INDUSTRIAL, 2013-2022**

Año	Sector Residencial (GWh)			Sector Industrial (GWh)		
	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto
<b>2013</b>	11,244	11,358	11,472	15,785	15,951	16,116
<b>2014</b>	11,360	11,594	11,830	16,378	16,798	17,225
<b>2015</b>	11,637	11,996	12,364	17,049	17,781	18,536
<b>2016</b>	12,000	12,496	13,007	17,896	18,989	20,138
<b>2017</b>	12,405	13,048	13,718	18,899	20,409	22,023
<b>2018</b>	12,825	13,626	14,467	20,008	21,992	24,150
<b>2019</b>	13,259	14,228	15,258	21,205	23,724	26,514
<b>2020</b>	13,698	14,848	16,082	22,469	25,588	29,103
<b>2021</b>	14,143	15,485	16,939	23,791	27,578	31,922
<b>2022</b>	14,594	16,140	17,831	25,165	29,694	34,982
<b>Tasas anuales acumulativas</b>						
<b>Historico</b>	4.40%	4.40%	4.40%	6.86%	6.86%	6.86%
<b>Proy. 2013-2022</b>	2.94%	3.98%	5.02%	5.32%	7.15%	8.99%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

Tal como puede verse en la Tabla 12, el sector industrial es más sensible que el sector residencial: en el primer caso, la diferencia asciende a 1.8 puntos porcentuales por cada variación de 1% del producto (elástica), mientras que en el segundo caso, la diferencia entre cada escenario corresponde a 1 punto porcentual (unitariamente elástica). Esto demuestra una mayor sensibilidad en el sector industrial respecto al producto.

En la Tabla 12 se presenta los resultados de las proyecciones de las regiones centrales donde el producto bruto u otro indicador de actividad sean significativos para proyectar el consumo de electricidad:

TABLA 13 SENSIBILIDAD CRECIMIENTO: REGIONES CENTRALES, 2013-2022

Año	Region IV y V - Coquimbo y Valparaiso (GWh)			Region RM - Metropolitana (GWh)			Region VIII - Biobio (GWh)			Region IX - Araucania (GWh)		
	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto
2013	3,840	3,858	3,876	12,511	12,633	12,755	2,227	2,238	2,249	1,010	1,011	1,012
2014	3,977	4,015	4,053	12,636	12,886	13,138	2,300	2,324	2,349	1,055	1,057	1,060
2015	4,137	4,196	4,256	12,931	13,316	13,708	2,389	2,428	2,466	1,104	1,107	1,111
2016	4,309	4,392	4,476	13,320	13,849	14,394	2,488	2,543	2,597	1,153	1,158	1,164
2017	4,499	4,607	4,718	13,753	14,438	15,150	2,595	2,666	2,739	1,205	1,212	1,219
2018	4,693	4,829	4,970	14,200	15,052	15,946	2,706	2,796	2,887	1,258	1,267	1,275
2019	4,893	5,060	5,233	14,662	15,692	16,784	2,821	2,930	3,043	1,313	1,324	1,334
2020	5,098	5,299	5,508	15,130	16,350	17,656	2,939	3,070	3,205	1,370	1,382	1,395
2021	5,310	5,546	5,795	15,603	17,025	18,561	3,060	3,214	3,373	1,428	1,443	1,458
2022	5,509	5,783	6,073	16,080	17,716	19,501	3,176	3,354	3,540	1,477	1,494	1,511
<b>Tasas anuales acumulativas</b>												
<b>Proy. 2013-2022</b>	4.09%	4.60%	5.12%	2.83%	3.83%	4.83%	4.02%	4.60%	5.17%	4.32%	4.44%	4.56%
<b>Elasticidad</b>	<i>Inelastico</i>			<i>Unitariamente Elastico</i>			<i>Inelastico</i>			<i>Tiene a Perfectamente Inelastico</i>		

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

En la Tabla 14 se presenta los resultados de las proyecciones, utilizando los distintos escenarios de crecimiento económico, de las regiones del norte y sur del país:

**TABLA 14 SENSIBILIDAD CRECIMIENTO: REGIONES NORTE Y SUR, 2013-2022**

Año	Region III Atacama- (GWh)			Region XI - Aysen (GWh)			Region XII - Magallanes (GWh)		
	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto	Bajo	Base	Alto
<b>2013</b>	609	611	613	136	136	137	257	257	257
<b>2014</b>	623	629	635	141	143	145	262	262	263
<b>2015</b>	638	649	659	146	150	153	268	269	270
<b>2016</b>	655	671	687	151	157	162	275	276	278
<b>2017</b>	675	697	720	157	165	172	283	285	287
<b>2018</b>	698	726	756	163	173	183	292	295	298
<b>2019</b>	721	757	795	170	182	195	302	306	310
<b>2020</b>	745	790	837	176	191	207	313	319	324
<b>2021</b>	770	824	880	183	201	220	325	333	341
<b>2022</b>	796	859	926	190	211	234	339	349	359
<b>Tasas anuales acumulativas</b>									
<b>Proy. 2013-2022</b>	3.02%	3.85%	4.69%	3.83%	4.98%	6.13%	3.15%	3.48%	3.81%
<b>Elasticidad</b>	<i>Tiene a Unitariamente Elastico</i>			<i>Elastico</i>			<i>Inelastico</i>		

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

Del análisis de las Tablas 13 y 14, se observa que las regiones del norte y del sur tienden a ser más elásticas a cambios en el nivel de crecimiento económico que las regiones centrales. Esta situación implica que una variación de 1% en el crecimiento económico genera un crecimiento de más de 1% en el consumo de electricidad, y responde a una mayor participación del consumo residencial (más inelástico) sobre el consumo total.

El precio de la electricidad es un componente importante para estimar el consumo de la electricidad. Sin embargo, se demostró que el mismo no es significativo en todos los casos. No obstante, es importante estimar el efecto que distintos escenarios de precios del suministro eléctrico tengan sobre la demanda eléctrica de aquellas zonas y sectores económicos donde el precio sea significativo para explicar el consumo de electricidad.

En este contexto, la CNE ha desarrollado tres casos. El primero de ellos corresponde al caso base, donde el precio se mantiene en los niveles actuales, utilizado con anterioridad. El caso bajo corresponde a un precio que se encuentra un 10% por debajo del nivel del caso base. Por último, el caso alto corresponde a un 10% superior del nivel del caso base.

En la Tabla 15 se presentan los resultados de las proyecciones de la región II (Antofagasta), para el período 2013 a 2022, y utilizando los tres escenarios descritos con anterioridad:

**TABLA 15 SENSIBILIDAD PRECIOS: ANTOFAGASTA, 2013-2040**

Año	Region II - Antofagasta (GWh)		
	Caso Bajo	Caso Base	Caso Alto
2013	856	851	848
2014	915	909	903
2015	975	967	961
2016	1,034	1,026	1,019
2017	1,098	1,089	1,081
2018	1,163	1,154	1,145
2019	1,231	1,221	1,212
2020	1,302	1,291	1,282
2021	1,376	1,365	1,355
2022	1,444	1,432	1,422
<b>Tasas anuales acumulativas</b>			
<b>Proy. 2013-2022</b>	5.99%	5.95%	5.92%
<b>Elasticidad</b>	<i>Tiene a Perfectamente Inelástico</i>		

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y FMI

En la Tabla 15 se observa como un mayor nivel de precio reduce el consumo de electricidad. Esta situación se debe, cómo define la ley de la demanda, a que si el precio del bien aumenta se reduce el ingreso real en términos de ese bien y el precio relativo respecto a otros bienes aumenta, *ceteris paribus*. Ante esta situación, los consumidores deciden reducir su consumo de dicho bien. Sin embargo, la variabilidad del consumo es bajo, demostrando una baja sensibilidad, que incluso tiende a ser perfectamente inelástica a cambios de precios. Esto demuestra el carácter de bien necesario de la electricidad.

Ahora bien, los los modelos de proyección utilizados para proyectar el consumo de electricidad del SIC y SING no poseen al precio de la electricidad como variable explicativa. Sin embargo, fuertes variaciones del nivel de precios podría afectar el consumo de electricidad futuro por lo que se debería analizar la sensibilidad de las proyecciones por sistema eléctrico.

Para lo mismo la CNE ha previsto de estudios de la elasticidad precio de la demanda de electricidad. En primer lugar, el trabajo “*Elasticities of Residential Electricity Demand in Chile*” de Agostini, Polttier y Saavedra, establece una elasticidad precio de corto plazo entre -0.38 y -0.4, siendo casi inelástica al precio de la electricidad. Este hecho parecería explicar

porque el precio de la energía eléctrica no resulta significativo en los modelos de proyección. Aún más, en el mismo trabajo se menciona que el SIC tiene una elasticidad de corto plazo muy inferior a la expresada para todo el país, entre -0.09 a -0.02. Estos últimos valores implican que una aumento de 10% en el nivel de precios genera una caída de entre 0.9% y 0.2% en el consumo de electricidad.

Por otro lado, en el trabajo “Estimando la Demanda Residencial por Electricidad en Chile: El consumo es Sensible al Precio” se estima una elasticidad precio de la demanda residencial de -0.0548 en el corto plazo (un mes), y -0.39 en el largo plazo. Vale decir, que si el precio aumenta un 10%, al mes siguiente la cantidad demandada disminuye 0.548%, y 3.9% en el largo plazo.

En último lugar, el “Estudio de Demanda Energética para el Sector Industrial Manufacturero y Minero en Chile” realizado por la Universidad de Chile establecen una elasticidad con respecto al precio medio, agregado a nivel nacional y de corto plazo, en torno a -0.40. Este valor implica que en un escenario de crecimiento del precio de 10%, las ventas de energía se reducirán 4.0%. En cuanto al largo plazo, las elasticidades son levemente superiores y en torno a -0.46.

Ahora, en este último estudio, al analizar por regiones, se establece una elasticidad precio promedio de largo plazo de -0.47 en la zona norte (SING), -0.49 en la zona centro (SIC) y -0.39 en la zona sur (Sistemas Medianos).

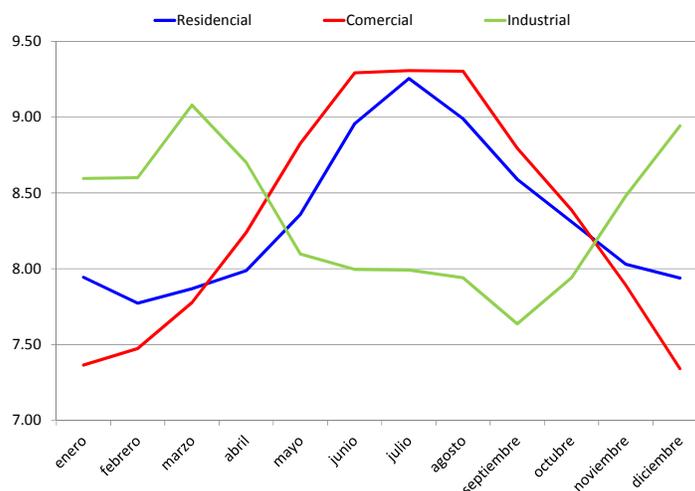
En conclusión, del análisis se desprende que el sector industrial es más elástico a la actividad económica que los demás sectores. De igual modo, las regiones norte y sur son más elásticas que las regiones centrales a los distintos escenarios de crecimiento económico. Ahora bien, si bien la demanda de electricidad no es insensible al precio, lo cierto es que es inelástica representando un bien necesario

### **Modulación mensual de la demanda**

El consumo mensual de electricidad viene caracterizado por una marcada estacionalidad, con períodos conocidos como picos o de alto consumo. Esta estacionalidad se explica, principalmente, por cuestiones climáticas y por el comportamiento estacional de la estructura productiva. Sin embargo, en muchos casos se observan patrones de consumo que son más complejos de explicar.

En la Gráfica 5 se presentan los coeficientes de estacionalidad históricos promedio de las ventas, por sector económico y para el período comprendido entre los años 1999 y 2012:

**GRÁFICO 5 COEFICIENTES DE ESTACIONALIDAD PROMEDIO HISTORICOS**



**FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE**

Como puede apreciarse en la Gráfica 5, en los meses que corresponden al invierno se alcanza el pico de consumo eléctrico del sector residencial, y en especial, durante el mes de julio. No obstante, se observa que durante el mes de enero, producto del calor, aumenta el consumo eléctrico respecto a los meses siguientes.

Asimismo, en la Gráfica 5 se observa que durante los meses centrales del año el consumo comercial alcanza su pico de consumo, y en especial durante el período de junio a agosto. Estos meses, en particular, hay menos pedidos de vacaciones y la actividad escolar y universitaria están en pleno funcionamiento, por lo que el consumo eléctrico del sector comercial es mayor.

En último lugar, el consumo industrial presenta su pico de demanda en el mes de marzo, y durante los meses de invierno cae su consumo en concepto de ventas reguladas. Esta situación responde a la propia actividad del sector, con picos de producción en el mes de marzo y caídas en los períodos de invierno, y por incentivos de precios.

Ahora bien, en la Tabla 16 se pueden apreciar los coeficientes de estacionalidad para el primer año y para el último año de la muestra por sector de consumo:

**TABLA 16 COEFICIENTE DE ESTACIONALIDAD MENSUAL HISTORICOS**

Mes	Coeficientes de Estacionalidad		
	Residencial	Comercial	Industrial
ene-99	8.07	7.75	8.67
feb-99	7.82	7.78	9.08
mar-99	8.29	7.80	9.48
abr-99	8.11	8.37	8.53
may-99	7.90	8.42	7.56
jun-99	8.87	8.89	7.59
jul-99	9.03	8.96	8.15
ago-99	8.57	9.03	7.93
sep-99	8.72	8.91	7.92
oct-99	8.32	8.50	7.80
nov-99	8.24	7.67	8.56
dic-99	8.06	7.92	8.72
---	---	---	---
ene-12	8.16	7.61	8.72
feb-12	7.78	7.24	8.88
mar-12	7.97	7.77	9.28
abr-12	7.81	8.02	8.38
may-12	8.36	8.77	8.16
jun-12	8.91	9.19	8.06
jul-12	9.00	9.32	7.87
ago-12	8.97	9.41	8.08
sep-12	8.21	8.41	7.03
oct-12	8.60	8.53	8.11
nov-12	8.29	8.43	8.56
dic-12	7.94	7.30	8.87

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE

En la Tabla 16, se observa una variabilidad marginal de los coeficientes de variación a lo largo de los años. Además, con la utilización de medidas estadísticas, como ha de ser la desviación estándar, se puede demostrar que la variabilidad de los coeficientes de estacionalidad históricos es baja.

Para determinar la modulación mensual de la demanda se aplicó un modelo ARIMA puro, con la inclusión de variables *dummy* para representar la estacionalidad.

Los modelos mensuales presentaron buenos estadísticos de bondad de ajuste para los casos del sector residencial e industrial. En consecuencia, los coeficientes resultan ser estadísticamente significativos para proyectar los coeficientes de estacionalidad.

Por el contrario, el modelo estimado para el sector comercial presenta un ajuste bajo, dejando entrever el hecho de que la serie histórica de consumo es muy volátil, lo que imposibilita al investigador encontrar una especificación adecuada que permita ajustarse a los datos.

## **6. PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE CLIENTES LIBRES**

En el mercado eléctrico chileno, además de los clientes regulados, se encuentran los clientes denominados libres. En concreto, estos clientes corresponden a aquellos cuya potencia conectada es mayor a 2.000 KW, o bien, teniendo una potencia conectada menor o igual a 2.000 KW.

### **6.1.1. METODOLOGÍA UTILIZADA**

Los clientes no son exclusivos de las empresas distribuidoras, ya que pueden contratar su suministro con empresas generadoras, a precio libre. Por lo general, los clientes no sujetos a fijación de precios mantienen contratos de largo plazo en los que el precio del servicio es establecido libremente por las partes. Es decir, que se supone la capacidad negociadora y la posibilidad de proveerse de electricidad de otras formas, tales como la autogeneración o el suministro directo desde empresas generadoras.

La CNE ha provisto los datos de clientes libres de las regiones de operación del SIC y del SING. En particular, los datos de clientes libres incluyen un total de 362 clientes libres en el país.

Las series de consumo de clientes libres corresponden a observaciones mensuales desde el año 2010 para clientes con contratos con distribuidoras y desde el año 2009 para empresas con contratos con generadoras. En primer lugar, cabe indicar que la cantidad de datos a paso anual no permitía realizar proyecciones econométricas.

Adicionalmente, estas series poseen una elevada volatilidad alrededor de un valor medio, sin poseer una tendencia definida y clara. En este contexto, y dado que el éxito de los pronósticos, en econometría, depende de (i) la existencia de regularidades en el pasado, (ii) que el modelo de pronóstico las capte y (iii) que sean informativas sobre el futuro, no se aplicaron técnicas econométricas para proyectar el consumo de estos usuarios.

El pronóstico de estos consumos se realizó, entonces, por diferencias. Dado que la oferta de energía eléctrica debe ser igual a la demanda, esta última entendida como las ventas a clientes regulados y libres más las pérdidas incurridas para satisfacer dichas ventas. Para lo mismo, se utilizaron las proyecciones de generación de energía eléctrica presentadas en el capítulo 3, y las proyecciones de ventas de electricidad de los usuarios regulados presentadas en el capítulo 5.

### **6.1.2. RESULTADOS**

En la Tabla 17 se presenta el consumo de electricidad libre total de Chile, junto con las pérdidas, las ventas totales y la generación bruta esperada, por sistema eléctrico y para el horizonte de proyección:

**TABLA 17 PROYECCION CONSUMO CLIENTES LIBRES (GWH)**

Año	Generación	Compras Totales				Distribución		Clientes Libres		
		Total	Regulados	Libres	Perdidas	Perdidas	Cientes Regulados	Cientes Libres	SING	SIC
2010	58,672	54,581	23,261	29,167	2,152	2,152	23,261	4,009	12,736	12,423
2011	62,369	57,806	24,770	31,042	1,994	1,994	24,770	4,105	12,807	14,131
2012	66,000	61,302	26,567	32,607	2,128	2,128	26,567	4,258	13,258	15,090
2013	68,514	62,745	27,850	32,673	2,222	2,222	27,850	4,325	13,853	14,495
2014	71,248	65,327	28,817	34,220	2,290	2,290	28,817	4,341	14,477	15,403
2015	74,393	68,316	30,029	35,910	2,377	2,377	30,029	4,393	15,270	16,247
2016	77,840	71,602	31,473	37,647	2,482	2,482	31,473	4,477	16,071	17,099
2017	81,633	75,230	33,097	39,532	2,602	2,602	33,097	4,582	16,934	18,017
2018	85,724	79,153	34,834	41,589	2,730	2,730	34,834	4,698	17,874	19,017
2019	90,096	83,351	36,677	43,809	2,865	2,865	36,677	4,822	18,889	20,098
2020	94,718	87,795	38,608	46,179	3,008	3,008	38,608	4,951	19,975	21,253
2021	99,551	92,445	40,624	48,665	3,156	3,156	40,624	5,086	21,114	22,465
2022	104,595	97,302	42,690	51,303	3,308	3,308	42,690	5,220	22,328	23,756

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE

## 7. ANÁLISIS EXTRATENDENCIAL: EXPANSIONES DE PROYECTOS EXISTENTES

### 7.1.1. METODOLOGÍA

En esta parte del estudio se buscó identificar expansiones y nuevos proyectos de alto consumo energético que se podrían conectar dentro del horizonte de 30 años, indicando la ubicación geográfica de éstos y estimando su consumo.

El análisis se realizó para cada uno de los sistemas eléctricos, identificando cada gran consumidor y sus principales características: propietario, producción y consumo de energía eléctrica.

### 7.1.2. SIC: INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Las proyecciones se realizaron considerando los proyectos de expansión de faenas mineras de acuerdo a la información de Cochilco y la proyección de algunos consumidores industriales de acuerdo a información obtenida por el Consultor.

La proyección de consumos se realizó asignando distintas probabilidad de ocurrencia a cada tipo de proyecto. El Consultor ha asignado una probabilidad de 70% a los proyectos probables, un 40% a los proyectos posibles y un 20% a los proyectos potenciales.

En la Tabla 18 se presentan los resultados, que implican un crecimiento de 1.7% entre 2014 y 2024:

**TABLA 18 SIC - PROYECCIÓN PROPUESTA GRANDES CONSUMIDORES**

Clasificación	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Base – B	12,145	12,352	12,690	12,744	12,784	12,922	12,937	12,940	13,007	13,010	13,047
Probable – P1	753	768	770	770	770	1330	1590	2190	2190	2190	2190
Posible – P2	0	0	0	0	235	570	1652	2729	3179	3179	3179
Potencial –P3	0	0	0	0	0	0	0	150	1647	4153	4958
<b>PROYECCIÓN</b>											
$B + 0.7*P1 + 0.4*P2 + 0.2*P3$											
Total	12890	13229	13283	13417	14081	14710	15595	16141	16646	16843	16893
Variación			2.6%	0.4%	1.0%	4.9%	4.5%	6.0%	3.5%	3.1%	1.2%

FUENTE: COCHILCO Y ESTIMACIONES PROPIAS

Para el largo plazo se propone usar una tasa anual de 1.7%, igual a la del período analizado.

### 7.1.3. SING: INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

La demanda de energía eléctrica en el SING correspondió en 2013 en un 88% a clientes libres, y el saldo a clientes sujetos a regulación de precios.

El 95% del consumo de clientes libres corresponde a clientes que tienen una demanda superior a unos 10 MW.

Las proyecciones se realizaron considerando los proyectos de expansión de faenas mineras de acuerdo a la información de Cochilco. Por otra parte el CDEC-SING ha solicitado a los consumidores existentes y potenciales una proyección de consumos eléctricos para el período 2015-2029.

El consultor ha decidido adoptar las proyecciones de consumo informada por los clientes del SING, pero haciendo prevalecer la opinión de Cochilco en cuanto a la fecha de puesta en servicio y su realización, por lo que ha realizado los ajustes correspondientes. Por otra parte tampoco se han considerándolas ampliaciones proyectadas después de 2023 por la falta de precisión que se tiene a esa fecha. Cochilco clasifica los proyectos en: base (en ejecución) y de realización probable, posible potencial.

En la Tabla 19 se presenta esta proyección, la que significa un crecimiento de 7.8% entre 2014 y 2024, lo que corresponde a un incremento promedio de 202 MW/año.

**TABLA 19 SING – PROYECCIÓN PROPUESTA GRANDES CONSUMIDORES (GWH)**

Clasificación	2014 est	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Base	13,350	14,989	15,881	17,124	17,258	18,652	18,535	18,521	19,162	19,496	19,206
Probable - P1		524	553	585	629	679	662	644	626	563	514
Posible - P2		0	0	0	577	1,205	1,215	1,221	1,837	1,874	1,878
Potencial - P3		0	9	94	150	267	2041	3,177	5,029	6,776	6,778
<b>PROYECCIÓN</b>											
$B + 0.7*P1 + 0.4*P2 + 0.2*P3$											
Total	13350	15356	16270	17552	17959	19663	19893	20096	21341	21995	21673
Variación		15.0%	6.0%	7.9%	2.3%	9.5%	1.2%	1.0%	6.2%	3.1%	-1.5%

FUENTE: COCHILCO, CDEC-SING Y ESTIMACIONES PROPIAS

Para el largo plazo se propone usar un crecimiento de 100 MW/año, que corresponde a una tasa de 3.0% anual en un período de 10 años.

## 8. ANÁLISIS EXTRATENDENCIAL: ANÁLISIS DE NUEVOS PROYECTOS ELECTROINTENSIVOS

En esta parte del estudio se analizaron en particular las industrias de litio, planta desalinizadoras y de bombeo, y vehículos eléctricos.

De los casos analizados, se concluye que solamente los procesos de desalinización y bombeo en la industria de la minería implicarían un aumento significativo de la demanda de energía eléctrica. Este aumento de consumo está considerado en la proyección de energía.

En lo que respecta al efecto del aumento de la demanda de carbonato de litio, no se espera un efecto significativo sobre el consumo eléctrico. Esto en parte, debido a que el litio se extrae en conjunto con otros minerales (potasio) y el proceso de extracción, al estar asociado a salares, no requiere de un consumo intensivo de electricidad. Por otra parte, no se vislumbran nuevos desarrollos importantes en Chile, por lo que no se esperan incrementos significativos en relación al consumo actual.

Finalmente, el efecto de los vehículos eléctricos, de acuerdo a lo estimado por el Comité de Transporte e Infraestructura, se espera que el consumo varíe entre un 20 MW y 140 MW en el año 2020. De acuerdo a la experiencia internacional revisada, el éxito en la penetración de vehículos eléctricos en el parte automotriz, está relacionado en parte a beneficios fiscales y a la fecha, no se han presentado iniciativas para impulsar la adquisición de este tipo de vehículos, se considera que el escenario más optimista (140 MW) es poco probable, por lo que también se espera que el efecto sobre la demanda producto del uso de este tipo de tecnología sea poco relevante.

## 9. CONCLUSIONES Y CRECIMIENTO DE LARGO PLAZO

Los métodos econométricos desarrollados a lo largo del estudio han permiten estimar el consumo de ventas de clientes regulados y libres hasta el año 2028.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para determinar el crecimiento del consumo eléctrico de Chile considerando un horizonte de 30 años, de acuerdo a lo indicado en los TdR.

En primer lugar, retomando el análisis presentado en el capítulo 2, se presenta la Tabla 20 con el producto per cápita y el consumo de electricidad para una muestra de 4 países:

TABLA 20 PRODUCTO Y CONSUMO PER CAPITA COMPARABLES CHILE

Paises	PIB per cápita (USD PPP/pob.)	Consumo de Electricidad per cápita (KWh/pob)
Alemania	38,409	7,211
España	29,666	5,531
Reino Unido	35,856	5,470
Nueva Zelanda	28,551	9,386
Promedio	33,121	6,899

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE

Los países presentados en la Tabla 20 corresponden a aquellos con un nivel de producto per cápita al cual tendería la economía de Chile hacia el año 2028. Por lo tanto, se establece un nivel de convergencia del consumo de electricidad del orden de los 7,000 kWh por habitante. Si analizamos el consumo de electricidad total presentado en el capítulo 3, corroboramos que el valor potencial que se obtiene del análisis de otros países comparables

se alcanza para el año 2028.

El nivel de crecimiento para un horizonte de 30 años de la demanda tendencial total fue calculado considerando un análisis integral que consideró los resultados de las proyecciones econométricas, el estudio de la relación producto y consumo de una muestra de países y Estados Unidos, y las estimaciones de ahorros energéticos potenciales, derivados de la aplicación de políticas de eficiencia energética. A partir de este estudio, se obtuvo un valor de crecimiento esperado de largo plazo promedio para el total de la economía como para cada tipo de cliente y sistema eléctrico.

Finalmente, se incorporó el análisis de la demanda extratendencial presentada en los capítulos 7 y 8, el cual involucró el estudio de las expansiones de proyectos existentes y el análisis de nuevos proyectos electrointensivos.

De este modo, en la Tabla 21 se presentan los resultados finales que se obtienen del estudio realizado por el consultor:

**TABLA 21 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD EN CHILE (GWh)**

Año	Ventas Totales			Ventas Extratend.		Ventas Clientes Regulados			Ventas Clientes Libres	
	SING	SIC	SSMM	SING	SIC	SING	SIC	SSMM	SING	SIC
2014	28,169	55,883	403	13,350	13,120	1,976	26,438	403	12,843	16,325
2015	30,427	58,659	409	15,513	13,460	2,036	27,034	409	12,877	18,165
2016	32,157	60,312	417	16,443	13,514	2,094	27,811	417	13,620	18,987
2017	34,670	60,450	427	17,803	13,789	2,156	28,699	427	14,711	17,962
2018	36,170	63,335	437	18,614	14,822	2,218	29,631	437	15,338	18,882
2019	38,931	66,179	450	20,803	16,179	2,281	30,593	450	15,847	19,407
2020	41,136	69,505	463	22,453	18,009	2,344	31,565	463	16,339	19,931
2021	42,834	73,062	478	23,563	20,023	2,407	32,539	478	16,864	20,500
2022	46,551	77,133	494	26,654	22,532	2,466	33,485	494	17,431	21,116
2023	49,272	79,506	505	28,709	23,374	2,532	34,361	505	18,032	21,772
2024	49,631	81,175	517	28,376	23,478	2,597	35,243	517	18,658	22,454
2025	51,182	83,151	529	29,227	23,877	2,663	36,130	529	19,292	23,144
2026	52,701	85,116	541	30,104	24,283	2,732	37,057	541	19,864	23,776
2027	54,264	87,129	553	31,007	24,696	2,803	38,008	553	20,454	24,426
2028	55,874	89,192	566	31,937	25,115	2,876	38,984	566	21,061	25,093
2029	57,532	91,305	579	32,896	25,542	2,950	39,984	579	21,687	25,778
2030	59,239	93,469	592	33,882	25,977	3,027	41,010	592	22,331	26,483
2031	60,997	95,687	605	34,899	26,418	3,105	42,063	605	22,993	27,206
2032	62,807	97,959	619	35,946	26,867	3,185	43,142	619	23,676	27,949
2033	64,671	100,286	633	37,024	27,324	3,268	44,249	633	24,379	28,713
2034	66,590	102,671	648	38,135	27,789	3,353	45,385	648	25,103	29,497
2035	68,567	105,114	663	39,279	28,261	3,439	46,550	663	25,848	30,303
2036	70,602	107,617	678	40,457	28,741	3,529	47,745	678	26,616	31,131
2037	72,697	110,181	694	41,671	29,230	3,620	48,970	694	27,406	31,981
2038	74,855	112,809	709	42,921	29,727	3,714	50,227	709	28,219	32,855
2039	77,076	115,501	726	44,209	30,232	3,810	51,516	726	29,057	33,753
2040	79,364	118,259	742	45,535	30,746	3,909	52,838	742	29,920	34,675
<b>Tasas anuales acumulativas</b>										
<b>Proy. 2014-2022</b>	5.6%	3.7%	2.5%	7.4%	5.6%	2.7%	2.9%	2.5%	3.8%	3.2%
<b>Proy. 2022-2040</b>	3.0%	2.4%	2.3%	3.0%	1.7%	2.6%	2.6%	2.3%	3.0%	2.7%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En este contexto, las tasas de largo plazo del SIC corresponde a 3.0%, mientras que las del SING y los sistemas medianos son levemente inferiores (2.4% y 2.3%, respectivamente). Por lo tanto, retomando, la proyección de la demanda total de largo plazo se representa en la Tabla 22:

**TABLA 22 – CONCLUSIÓN FINAL: PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD A LARGO PLAZO EN CHILE (GWH)**

Año	Escenarios Alto		Escenarios Medio			Escenarios Bajo	
	SIC	SING	SIC	SING	Sistemas Medianos	SIC	SING
2014	53,146	18,070	52,638	17,957	484	52,638	17,844
2015	55,655	19,061	54,738	18,860	507	54,687	18,658
2016	58,489	20,084	57,157	19,797	530	56,893	19,510
2017	61,688	21,173	59,891	20,787	553	59,299	20,400
2018	65,235	22,318	62,863	21,824	577	61,871	21,330
2019	69,120	23,516	66,044	22,910	604	64,583	22,304
2020	73,326	24,766	69,385	24,044	630	67,424	23,321
2021	77,838	26,016	72,870	25,201	658	70,369	24,385
2022	82,648	27,289	76,493	26,393	687	73,402	25,498
2023	87,750	28,583	80,246	27,623	719	76,518	26,662
2024	93,141	29,897	84,116	28,887	752	79,709	27,878
2025	98,817	31,224	88,108	30,187	788	82,964	29,150
2026	104,779	32,561	92,199	31,521	827	86,282	30,481
2027	111,027	33,905	96,415	32,888	868	89,646	31,871
2028	117,561	35,253	100,728	34,290	912	93,070	33,326
2029	121,049	36,090	103,718	35,104	933	95,831	34,117
2030	124,642	36,947	106,795	35,937	954	98,675	34,927
2031	128,340	37,824	109,965	36,790	976	101,604	35,756
2032	132,149	38,722	113,228	37,664	998	104,619	36,605
2033	136,071	39,641	116,588	38,558	1,021	107,723	37,474
2034	140,108	40,582	120,048	39,473	1,045	110,920	38,364
2035	144,266	41,546	123,610	40,410	1,069	114,212	39,274
2036	148,547	42,532	127,279	41,369	1,093	117,601	40,207
2037	152,956	43,542	131,056	42,352	1,118	121,091	41,161
2038	157,495	44,576	134,945	43,357	1,144	124,684	42,138
2039	162,169	45,634	138,949	44,386	1,170	128,384	43,139
2040	166,981	46,717	143,073	45,440	1,197	132,194	44,163
2041	171,936	47,826	147,319	46,519	1,224	136,117	45,211
2042	177,039	48,961	151,690	47,623	1,252	140,157	46,285
2043	182,292	50,124	156,192	48,754	1,281	144,316	47,383
2044	187,702	51,314	160,827	49,911	1,310	148,598	48,508
<b>Tasas anuales acumulativas</b>							
<i>Histórico</i>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.9%</b>	<b>4.8%</b>
<i>Proy. 2014-2028</i>	<b>5.8%</b>	<b>4.9%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.7%</b>	<b>4.6%</b>	<b>4.2%</b>	<b>4.6%</b>
<i>Proy. 2028-2044</i>	<b>3.0%</b>	<b>2.4%</b>	<b>3.0%</b>	<b>2.4%</b>	<b>2.3%</b>	<b>3.0%</b>	<b>2.4%</b>

**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**