

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

INFORME FINAL - TOMO I

Preparada para:



Diciembre, 2014

M 1477 - 14

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

INFORME FINAL - TOMO I

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ANÁLISIS COMPARATIVO..	6
2.1.	INTRODUCCIÓN	6
2.2.	DESARROLLO CONCEPTUAL	6
2.3.	SELECCIÓN DE PAÍSES E INFORMACIÓN UTILIZADA.....	8
2.3.1.	INFORMACIÓN DE PAÍSES	10
2.3.2.	INFORMACIÓN DE ESTADOS DE EE.UU.....	15
2.4.	METODOLOGÍA UTILIZADA	17
2.4.1.	ANÁLISIS GRÁFICO	17
2.4.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	17
2.4.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO NO PARAMÉTRICO.....	19
2.5.	RESULTADOS	20
2.5.1.	ANÁLISIS CUALITATIVO: ANÁLISIS GRÁFICO.....	20
2.5.2.	ANÁLISIS CUANTITATIVO: ELASTICIDAD INGRESO DE LA DEMANDA	24
2.5.3.	ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA: TESTS DE MEDIA Y MEDIANA.....	31
2.6.	CONCLUSIONES.....	33
3.	MODELOS DE PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE ELECTRICIDAD POR SISTEMA.....	35
3.1.	INTRODUCCIÓN	35
3.2.	METODOLOGÍA GENERAL.....	35
3.3.	SISTEMAS SIC Y SING	38
3.3.1.	INFORMACIÓN UTILIZADA	38
3.3.2.	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	43
3.3.3.	ESCENARIOS CONSIDERADOS	52
3.3.4.	RESULTADOS.....	55
3.4.	SISTEMAS MEDIANOS	58
3.4.1.	INFORMACIÓN UTILIZADA	58
3.4.2.	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	59
3.4.3.	ESCENARIOS CONSIDERADOS	67
3.4.4.	RESULTADOS.....	70
3.4.5.	ESTACIONALIDAD DE LOS SISTEMAS MEDIANOS.....	72
3.5.	CONCLUSIONES.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES	10
TABLA 2 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES	11
TABLA 3 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES	12
TABLA 4 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA IEA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES	13
TABLA 5 - RESUMEN DE TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO POR DÉCADAS	14
TABLA 6 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR ESTADOS	15
TABLA 7 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR ESTADO.....	16
TABLA 8 - COEFICIENTES DE CORRELACIÓN POR PAÍS.....	21
TABLA 9 - REGRESIONES POR PAÍS, POR MODELO Y POR BASE DE DATOS: BASE DE DATOS IEA+UN.....	26
TABLA 10 - REGRESIONES POR PAÍS, POR MODELO Y POR BASE DE DATOS: BASE DE DATOS IMF+WB.....	27
TABLA 11 - ELASTICIDAD INGRESO PARA PAÍSES EMERGENTES.....	29
TABLA 12 - ELASTICIDAD INGRESO PARA PAÍSES DESARROLLADOS	30
TABLA 13 - REGRESIONES POR PAÍS, POR ESTADOS DE EE.UU., POR MODELOS	30
TABLA 14 - ELASTICIDAD INGRESO PARA ESTADOS	31
TABLA 15 - COMPARACIÓN BASES DE DATOS.....	32
TABLA 16 - TEST DE MEDIAS	32
TABLA 17 - TEST DE MEDIANAS	33
TABLA 18 - MODELOS ANUALES: VARIABLES RELEVADAS	42
TABLA 19 - REGRESIONES ANUALES SIC.....	47
TABLA 20 - MODELOS DE PROYECCIÓN ANUAL SIC	48
TABLA 21 - MODELO DE PROYECCIÓN ANUAL SING	48
TABLA 22 - REGRESIONES TRIMESTRALES	49
TABLA 23 - REGRESIONES TRIMESTRALES SING.....	50
TABLA 24 - MODELOS DE PROYECCIÓN TRIMESTRAL.....	50
TABLA 25 - MODELOS DE PROYECCIÓN MENSUAL.....	51
TABLA 26 - TASAS DE PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO	52
TABLA 27 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028	53
TABLA 28 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL.....	54
TABLA 29 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL.....	54
TABLA 30 - PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028	55
TABLA 31 - PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO SIC Y SING (GWh), 2014-2044	56
TABLA 32 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 5	66
TABLA 33 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 3	66
TABLA 34 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 6, 7 Y 8	66
TABLA 35 - TASAS DE PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO	67
TABLA 36 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028	68

TABLA 37 - PROYECCIÓN E HISTORIA DE POBLACIÓN COMUNAL	68
TABLA 38 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL.....	69
TABLA 39 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL.....	69
TABLA 40 - EVOLUCIÓN DEL PBI REGIONAL: REGIONES X, XI Y XII	69
TABLA 41 - PROYECCIÓN E HISTORIA DEL INACER, POR REGIÓN.....	70
TABLA 42 - PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO SISTEMAS MEDIANOS (MWh), 2014-2028	70
TABLA 43 - COEFICIENTES DE ESTACIONALIDAD – SISTEMAS MEDIANOS	73
TABLA 44 - RESUMEN DE LAS PROYECCIONES SIC, SING Y SSMM (GWh)	73
TABLA 45 - PROYECCIONES DE LARGO PLAZO DE GENERACIÓN BRUTA SIC, SING Y SSMM (GWh).....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - PBI PER CÁPITA POR PAÍS	9
GRÁFICO 2 - PBI PER CÁPITA POR ESTADO (EE.UU.).....	10
GRÁFICO 3 - PBI PER CÁPITA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS PROMEDIO [1970-2010]	15
GRÁFICO 4 - COEFICIENTE I PARA TODOS LOS PAÍSES DE LA MUESTRA	23
GRÁFICO 5 - COEFICIENTE I PARA TODOS LOS ESTADOS DE EE.UU. DE LA MUESTRA.....	24
GRÁFICO 6 - ELASTICIDADES DE CORTO Y LARGO PLAZO PARA LA MUESTRA DE PAÍSES.....	34
GRÁFICO 7 - RELACIÓN VENTAS Y GENERACIÓN (GWh) BRUTA DEL SIC Y SING.....	39
GRÁFICO 8 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO.....	53
GRÁFICO 9 - PROYECCIÓN ACTIVIDAD ECONÓMICA POR SISTEMA ELÉCTRICO	54
GRÁFICO 10 - EVOLUCIÓN CONSUMO SIC (GWh), 2000-2028	57
GRÁFICO 11 - EVOLUCIÓN CONSUMO SING (GWh), 2000-2028	57
GRÁFICO 12 - TENDENCIA ESTIMADA PARA PUERTO WILLIAMS	63
GRÁFICO 13 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA PALENA [2008].....	64
GRÁFICO 14 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA COCHAMÓ [2005].....	65
GRÁFICO 15 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA HORNOPIRÉN [2005].....	65
GRÁFICO 16 - EVOLUCIÓN DE CONSUMOS (MWh) DE LOS SISTEMAS MEDIANOS, 2014-2028.....	72

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.

En particular, el presente informe presenta 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) per cápita del período 1971 a 2010 en algunos casos, 1960 a 2010 en otros, y 1987 a 2010 en el caso de los Estados de EE.UU.
4. Análisis e identificación de las variables que podrían explicar la demanda anual de cada sistema eléctrico.
5. Propuesta de un modelo econométrico de proyección de consumo eléctrico por sistema de Chile.
6. Propuesta de escenarios de crecimiento de las variables explicativas del modelo seleccionado.
7. Estimación de la proyección anual de demanda por sistema eléctrico a un horizonte de 30 años.

En el capítulo 2 se presenta el análisis de la relación entre el consumo eléctrico y el crecimiento económico para una muestra de diversos países (actividades 2 y 3, de acuerdo a las numeradas en el párrafo anterior).

En el capítulo 3 se presentan los modelos econométricos de regresión propuestos para proyectar el consumo anual de energía eléctrica por sistema, incluyendo los resultados de las proyecciones para el mediano plazo (actividades 1, 4, 5, 6 y 7 de acuerdo a las numeradas en el párrafo anterior).

2. RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: ANÁLISIS COMPARATIVO

2.1. INTRODUCCIÓN

Es indudable que la energía eléctrica ha tenido un rol importante en el desarrollo social y económico de los países. Resulta esencial garantizar la distribución de electricidad y la cobertura de las necesidades energéticas básicas de las personas.

En este contexto, es importante revisar la relación entre el PBI per cápita y el consumo de electricidad para comprender las dinámicas subyacentes de la misma, así como las futuras necesidades en términos de planificación y regulación energética.

A lo largo de este capítulo, se estudiará la experiencia de distintos países y algunos Estados de Estados Unidos (EE.UU.), con el objetivo de determinar las dinámicas subyacentes que caractericen la relación entre el consumo eléctrico y el crecimiento económico.

En primer lugar, se realizó un análisis a partir de gráficos de tendencia y dispersión. Adicionalmente, se modeló la relación entre crecimiento de la demanda de electricidad y crecimiento económico, considerando modelos econométricos de ajuste parcial. Finalmente, se realizaron test no paramétricos a los fines de verificar estadísticamente los resultados obtenidos.

2.2. DESARROLLO CONCEPTUAL

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 al desarrollo de una amplia bibliografía que sirve como bagaje teórico para cualquier análisis de esta índole, digno de ser analizado previo a cualquier análisis numérico.

En la literatura actual pueden encontrarse cuatro hipótesis sobre la relación entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico, a saber:

- neutralidad (no casualidad);
- conservación de la energía (causalidad unidireccional);
- crecimiento económico (causalidad unidireccional); y
- retroalimentación (causalidad bi-direccional o *feedback*).

La primera hipótesis (neutralidad) se refiere a la no existencia de relación entre las dos variables, en ninguna dirección. Algunos trabajos (Akarca y Long; 1989) han intentado demostrar el cumplimiento de esta hipótesis. Otros autores (Zhu y Zhao; 2011) han buscado refutar la hipótesis de neutralidad demostrando la existencia de una relación entre las variables, observando que la hipótesis de neutralidad solamente se cumplía en economías muy poco desarrolladas.

En este contexto, surge la 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. Esta hipótesis sostiene que el implementar políticas que promuevan la conservación de la energía tendrá efecto casi nulo, o nulo sobre el desempeño económico.

La tercera hipótesis es conocida como la hipótesis de crecimiento económico, y sostiene que

existe causalidad en la dirección consumo de electricidad a PBI. Es decir, si esta hipótesis se cumple, entonces, las políticas que promueven la eficiencia energética tendrían efectos nefastos sobre el crecimiento económico, ya que en este caso, el país es energéticamente dependiente.

La cuarta y última hipótesis, se refiere a la existencia de una retroalimentación entre el consumo de energía y el PBI; es decir, la existencia de causalidad bidireccional, del consumo eléctrico al PBI, y del PBI al consumo de electricidad.

En general, los resultados de los distintos estudios no son excluyentes. Asimismo, si bien las relaciones descritas en la tercera y cuarta hipótesis son razonables desde el punto de vista económico, los requerimientos en términos de información dificultan su chequeo numérico, y son de difícil interpretación debido a su complejidad. Además, si consideramos el objetivo de este estudio, el análisis más adecuado se encuadra dentro de la hipótesis de conservación de la energía, descrita con anterioridad.

La familia de modelos, que recoge la concepción de conservación de energía, se debe a Fisher y Kaysen (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 por hora es esencialmente fijo y determinado por su diseño técnico. Dicho consumo varía con la utilización y cantidad del stock de equipos existentes, y las características tecnológicas del stock de durables.

Este tipo de modelo estima elasticidades de corto plazo a partir del stock de equipos que poseen los consumidores. Las elasticidades de largo plazo se obtienen de una segunda ecuación que modela la demanda por equipos. La limitación de estos modelos es práctica, porque rara vez se cuenta con datos del stock de equipos.

Para resolver el problema de información mencionado, se derivó un modelo econométrico que permite estimar elasticidades de corto y largo plazo sin datos sobre el stock de equipos, denominado Modelo de Ajuste Parcial.

Estos modelos suponen que en el corto plazo el stock de equipos que utilizan electricidad es fijo. Por lo tanto, la demanda de electricidad será inelástica respecto al nivel de ingreso de la actividad, aunque no llegará a ser perfectamente inelástica, producto de que distintos niveles de ingreso y actividad económica afectan la intensidad de utilización. En el largo plazo, los agentes económicos podrán modificar el stock de bienes durables. De este modo, la demanda tenderá a ser más elástica respecto al ingreso y el nivel de actividad de la economía. No obstante, la intensidad de esta relación se encuentra sujeta a la estructura productiva del país, siendo más sensible en los países electro intensivos, y 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 (Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental; 2011) hace referencia al proceso por el cual se desacopla el consumo de electricidad del proceso de crecimiento económico. Por ejemplo, la relación entre energía y producto bruto puede reducirse a través del progreso tecnológico.

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 de largo plazo converge a valores más cercanos a cero –demanda inelástica- 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. Aún más, el aumento de las regulaciones medioambientales genera el mismo efecto sobre la demanda de energía.

Otra cuestión que ha sido debatida es la influencia del comercio internacional en la evolución de la intensidad energética de los países (Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental; 2011). Algunos autores defienden que al desarrollarse, un país deja de producir ciertos bienes intensivos en energía y pasa a importarlos de países con leyes medioambientales menos estrictas. Este proceso ayuda a la desmaterialización de la economía, porque los países cambian la localización de su industria pesada, haciendo que su intensidad energética luzca mejor. Sin embargo, es difícil medir el impacto global de la deslocalización (Tverberg; 2011).

Otros autores consideran que los precios de los energéticos explican la evolución de la intensidad energética en muchos países, afectando las teorías de la desmaterialización (Llamas; 2009). Una política de tarifas bajas, por ejemplo, incentivará el consumo de electricidad en detrimento de una mejor eficiencia eléctrica. La cuestión se trasladaría entonces a preguntarnos hasta qué punto se puede reducir el requerimiento energético por unidad de PBI debido al avance tecnológico.

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.

2.3. 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 procedió a realizar un análisis comparativo seleccionando 14 países. Adicionalmente, se incluyeron en el análisis algunos Estados de EE.UU., cuyas 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 desarrollados y 7 países emergentes. El objetivo de dicha selección responde a buscar patrones similares y 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 Latina donde el crecimiento económico y del consumo energético ha mostrado una tendencia vigorosa en los últimos años;
- *Colombia*: además de ser uno de los principales mercados eléctricos de la región, es un

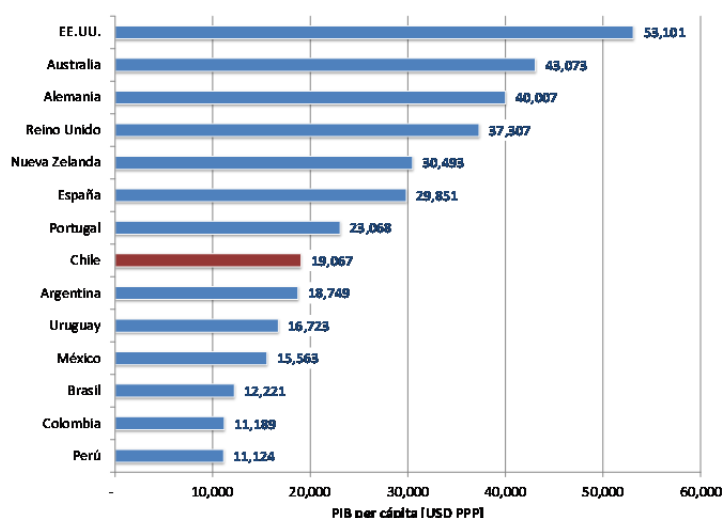
mercado competitivo con una alta integración con el mercado de gas natural;

- *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 en donde las políticas de eficiencia energética no parecen haber sido efectivas.

Por el otro lado, se seleccionaron otros países fuera de la región latinoamericana, 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 Gráfico 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.

GRÁFICO 1 - PBI PER CÁPITA POR PAÍS

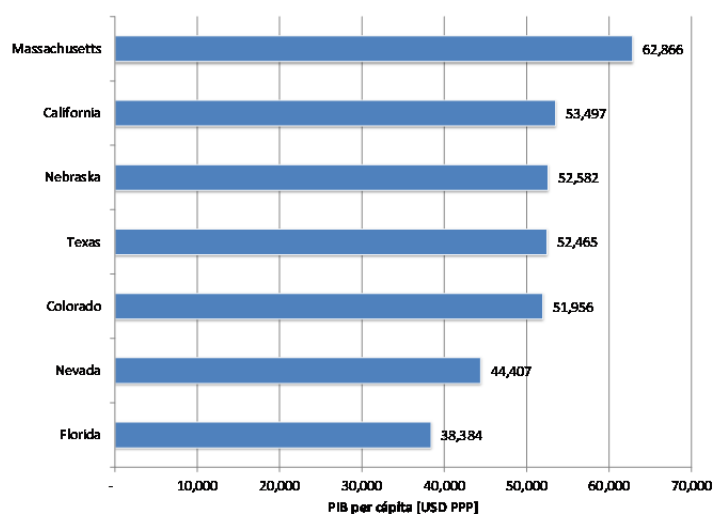


FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE IMF

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. A modo de ejemplo, el estado de Michigan presentaba una alta volatilidad de sus datos lo que afectaba cualquier análisis econométrico.

El PBI per cápita de estos Estados se muestra en la Gráfica 2:

GRÁFICO 2 - PBI PER CÁPITA POR ESTADO (EE.UU.)



FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE LA BEA

Las fuentes de información utilizadas en esta etapa del estudio fueron diversas, con el objetivo de robustecer el análisis y poder identificar aquellos datos que mejor expliquen la relación entre las variables:

- 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)

2.3.1. Información de Países

Por un lado, la información correspondiente al IMF fue relevada en lo que corresponde al PBI per cápita (PPP) de los países de la muestra. La misma se encontraba disponible para los años comprendidos dentro del período 1980 - 2013 (34 datos).

La Tabla 1 muestra las tasas de crecimiento anual promedio del PBI per cápita, por grupos de décadas (1980 - 1990, 1990 - 2000 y 2000 - 2010) y países (desarrollados y emergentes):

TABLA 1 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES

País	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Emergentes	3.6%	4.4%	3.9%
Argentina	1.4%	5.2%	4.3%
Brasil	3.6%	3.0%	3.4%
Perú	0.8%	4.5%	6.2%
Uruguay	4.4%	4.4%	3.4%
Colombia	5.8%	3.1%	2.5%
México	3.9%	3.8%	3.4%
Chile	5.5%	6.9%	3.9%
Desarrollados	6.6%	4.4%	2.9%

País	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Alemania	6.3%	3.6%	3.3%
España	6.9%	4.6%	2.2%
Reino Unido	7.2%	4.9%	2.9%
Nueva Zelanda	5.2%	3.8%	3.3%
EE.UU	6.6%	4.3%	2.9%
Australia	6.1%	4.3%	3.5%
Portugal	7.8%	5.0%	1.8%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DEL IMF

En promedio, desde 1980 todos los países han experimentado un período de crecimiento económico. Sin embargo, se aprecia una clara desaceleración en los países desarrollados a lo largo de los años, la cual es más fuerte en la última década producto de la crisis internacional. En este contexto, los países emergentes se han caracterizado por tener un crecimiento económico muy superior a los desarrollados a partir del período 1990-2000.

Por otro lado, la información correspondiente al WB fue también relevada en lo que corresponde al consumo de energía eléctrica de los países seleccionados. La misma se encontraba disponible para:

- 1971 - 2011 (41 datos) para Argentina, Brasil, Perú, Uruguay, Colombia, Chile y México.
- 1960 - 2011 (52 datos) para Alemania, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, EE.UU, Australia y Portugal.

En la Tabla 2 se presentan las tasas de crecimiento anual promedio del consumo de energía eléctrica, por países (emergentes y desarrollados) y por grupos de décadas (1980-1990, 1990-2000 y 2000-2010):

TABLA 2 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES

País	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Emergentes	4.2%	5.2%	3.9%
Argentina	2.1%	6.1%	4.3%
Brasil	5.9%	4.3%	3.4%
Perú	3.2%	4.0%	6.2%
Uruguay	2.8%	5.7%	3.4%
Colombia	5.2%	5.9%	2.5%
México	5.3%	1.5%	3.4%
Chile	4.8%	8.8%	3.9%
Desarrollados	3.4%	2.7%	1.4%
Alemania	1.5%	0.3%	0.7%
España	3.3%	4.3%	2.4%
Reino Unido	1.5%	1.6%	-0.1%
Nueva Zelanda	4.2%	1.9%	1.4%
EE.UU	2.7%	2.8%	0.7%
Australia	5.3%	3.0%	1.9%
Portugal	5.2%	4.9%	2.5%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DEL WB

El crecimiento promedio ha sido positivo a lo largo de todas las décadas para todos los países - a excepción del Reino Unido-, aunque la tasa anual promedio muestra una tendencia decreciente. Esta caída se puede vincular tanto a la crisis económica internacional, de la cual ya hemos hecho mención, como a las mejoras en eficiencia energética.

Teniendo en cuenta la información disponible, se pudo construir una base de datos de 32 observaciones (1980 a 2011), con información del consumo de electricidad y del PBI per cápita

por país y por año.

Por otro lado, la información correspondiente a la IEA se encontraba disponible para las últimas cuatro décadas a paso anual. En particular:

- PBI (PPP)
 - 1971 - 2011 (41 datos) para Argentina, Brasil, Perú, Uruguay y Colombia.
 - 1971 - 2012 (42 datos) para Chile y México.
 - 1960 - 2012 (52 datos) para Alemania, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, EE.UU, Australia y Portugal.
- Consumo de Energía Eléctrica (GWh)
 - 1971 - 2011 (41 datos) para Argentina, Brasil, Perú, Uruguay, Colombia, Chile y México.
 - 1960 - 2011 (52 datos) para Alemania, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, EE.UU, Australia y Portugal.

Asimismo, se dispuso de series de población para los 14 países seleccionados, con el objetivo de obtener el PBI per cápita. Las series de población se recopilaron del sitio web de UN, el cual contenía información de población para los años comprendidos dentro del período 1960-2010 (51 datos).

Teniendo en cuenta los datos correspondientes a la IEA, anteriormente descritos, y la extensión de las series de población de UN, las series de PBI per cápita (PPP) se encontraron disponibles para los siguientes años:

- 1971 - 2010 (40 datos) para Argentina, Brasil, Perú, Uruguay, Colombia, Chile y México.
- 1960 - 2010 (51 datos) para Alemania, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, EE.UU, Australia y Portugal.

En la Tabla 3 se presentan el crecimiento anual promedio de la información recopilada, por grupos de décadas (1970 - 1980, 1980 - 1990, 1990 - 2000 y 2000 - 2010) y países (desarrollados y emergentes):

TABLA 3 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES

País	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Emergentes	2.58%	-0.56%	2.32%	2.74%
Argentina	1.04%	-2.96%	3.27%	3.40%
Brasil	5.62%	-0.53%	0.97%	2.46%
Perú	0.79%	-3.03%	2.15%	4.42%
Uruguay	3.00%	-0.67%	2.73%	2.80%
Colombia	3.05%	1.41%	0.82%	2.51%
México	3.92%	-0.23%	1.55%	0.51%
Chile	0.65%	2.06%	4.74%	3.08%
Desarrollados	2.19%	2.19%	2.19%	0.94%
Alemania	2.91%	2.16%	1.56%	1.04%
España	2.56%	2.56%	2.44%	0.66%
Reino Unido	1.82%	2.55%	2.46%	1.24%
Nueva Zelanda	0.64%	1.24%	1.70%	1.08%
EE.UU	2.29%	2.19%	2.28%	0.60%
Australia	1.61%	1.51%	2.34%	1.57%
Portugal	3.50%	3.11%	2.55%	0.41%

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

Tal como se muestra en la Tabla 3, el período 1980 - 1990 constituye una época de recesión para los países emergentes, hecho que se refleja en la tasa promedio anual de crecimiento del PBI para ese grupo de países. Sin embargo, si bien la tasa promedio para el grupo de países es negativa (-0.56%), países como Chile y Colombia exhiben tasas de crecimiento positivas. La década siguiente (1990 - 2000) muestra un período de recuperación, donde todos los países emergentes (y consecuentemente su promedio) pasan de arrojar tasas negativas a tasas positivas para el crecimiento promedio anual del producto.

A diferencia de lo que ocurre con los países emergentes, la Tabla 3 muestra que los países desarrollados nunca exhiben una tasa de crecimiento negativa, lo cual implica que son economías que se encuentran en constante crecimiento a través de las décadas estudiadas. No obstante, se observa una desaceleración por década en el crecimiento promedio del PBI per cápita, viéndose superado por el crecimiento promedio de los países emergentes en la última década.

Análogamente, se confeccionó la Tabla 4 con las tasas de crecimiento anual promedio del consumo de energía eléctrica, por grupos de décadas (1970 - 1980, 1980 - 1990, 1990 - 2000 y 2000 - 2010) y países (desarrollados y emergentes):

TABLA 4 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA IEA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR GRUPO DE PAÍSES

País	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Emergentes	6.73%	4.30%	5.23%	3.86%
Argentina	5.80%	2.07%	6.46%	4.10%
Brasil	12.10%	5.93%	4.30%	3.15%
Perú	5.47%	3.09%	3.93%	6.19%
Uruguay	4.12%	3.21%	5.77%	3.37%
Colombia	6.82%	5.34%	2.18%	3.66%
México	9.18%	5.77%	4.94%	2.51%
Chile	3.65%	4.72%	9.02%	4.06%
Desarrollados	5.41%	3.29%	2.77%	1.47%
Alemania	4.42%	1.51%	0.61%	0.90%
España	7.48%	3.43%	4.12%	2.65%
Reino Unido	1.35%	1.59%	1.84%	-0.02%
Nueva Zelanda	5.25%	3.76%	1.96%	1.33%
EE.UU	4.16%	2.66%	2.88%	0.83%
Australia	6.55%	5.01%	2.95%	1.93%
Portugal	8.62%	5.08%	5.01%	2.66%

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

La Tabla 4 exhibe las tasas de crecimiento anual promedio del consumo de energía eléctrica. Tal como puede observarse, todas las tasas (con excepción del Reino Unido en la última década) son positivas, lo que implica que el consumo eléctrico creció a lo largo del período 1970 - 2010 para todos los países. La situación destacada en Reino Unido es producto de la crisis económica en la que estuvo sumergida la economía internacional.

Un hecho importante para mencionar es que la tasa promedio para los países emergentes supera, para todas las décadas, la tasa promedio para los países desarrollados, lo que permite concluir que en promedio el consumo eléctrico de los países en vías de desarrollo creció más que el consumo de los países desarrollados. Además, se observa una clara desaceleración en el crecimiento promedio de la demanda eléctrica en los países desarrollados. Esta dinámica responde, como fue explicado con anterioridad, a una desaceleración económica en dichos países.

Teniendo en cuenta la información disponible y la necesidad de comparar series de tiempo

homogéneas, se pudieron construir dos bases de base de datos. La primera se encuentra compuesta por Argentina, Brasil, Perú, Uruguay, Colombia, Chile y México, y posee datos de consumo de electricidad, PBI per cápita PPP y población por país para los años 1971 a 2010 (40 observaciones). La segunda base está compuesta por las mismas variables, para los países Alemania, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, EE.UU, Australia y Portugal, y comprende el período 1960 a 2010 (51 datos).

Es importante remarcar que si bien los datos del IMF, del WB y de la IEA presentan diferencias de niveles, producto de las distintas metodologías empleadas y el tipo de información recopilada por cada organismo, las dinámicas observadas son similares, aunque no iguales. Por lo tanto, la utilización de ambas fuentes de información sirve para aumentar la robustez del análisis econométrico y estadístico, permitiendo buscar la mejor especificación de modelo en función de los datos.

A continuación se presenta la Tabla 5, que muestra aquellos países que crecieron en promedio más que el resto (y menos) por década y tasa considerada:

TABLA 5 - RESUMEN DE TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO POR DÉCADAS

País	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Máx. PBIpc	Brasil	Portugal	Chile	Perú
Min PBIpc	Nueva Zelanda	Perú	Colombia	Portugal
Máx. CEE	Brasil	Brasil	Chile	Perú
Min CEE	Reino Unido	Australia	Alemania	Reino Unido

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

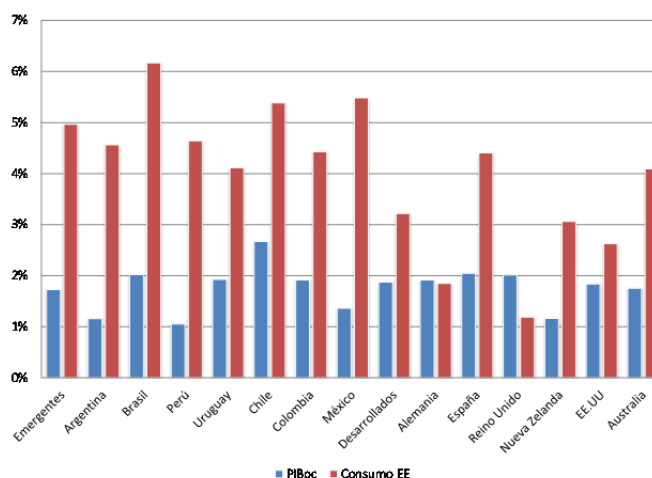
Tal como puede apreciarse en la Tabla 5, Brasil exhibe la tasa de crecimiento promedio anual más alta para el período 1970 - 1980, tanto en PBI per cápita como en consumo eléctrico. En la siguiente década sigue mostrando la máxima tasa de crecimiento del consumo eléctrico, pero Portugal es el país que posee una mayor tasa de crecimiento del producto en relación a los demás países estudiados. Si seguimos observando lo que ocurrió con el paso de las décadas, Brasil desaparece de la Tabla 5 (es decir que se mantuvo en valores intermedios) y aparece Chile como un país con fuerte crecimiento en el período 1990 - 2000.

Finalmente, si nos concentramos en estudiar el último período (2000 - 2010), podemos ver como Perú se destaca de los demás países de la muestra. Vale la pena mencionar que dos décadas atrás (1980-1990), Perú era el país que menos había crecido en términos de producto frente a los demás países, lo que permite inferir que el período 1990 - 2000 constituyó una etapa de recuperación económica.

Del análisis de los datos 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 en la última década el aumento de los precios de las materias primas y el flujo de capitales hacia los países emergentes potenciaron el crecimiento económico, sus características estructurales ya determinaban que el crecimiento a 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 energético, basta mencionar que los países más desarrollados se han caracterizado por un desacoplamiento de sus economías.

La Gráfica 3 presenta las tasas promedio de crecimiento anual del PBI per cápita y del consumo de energía eléctrica para el período 1970-2010:

GRÁFICO 3 - PBI PER CÁPITA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS PROMEDIO [1970-2010]



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

Como puede verse en la Gráfica 3, el país que muestra una tasa de crecimiento anual promedio del PBI per cápita y consumo de energía eléctrica más alta para el período estudiado resulta ser Chile. Por el contrario, los países que exhiben las tasas de crecimiento anuales promedio más bajas son Perú, en el caso del PBI per cápita, y Reino Unido, en el caso del consumo de energía. Es importante aclarar que aquellos países emergentes con tasas de crecimiento promedio inferiores a las de los países desarrollados han sido los que tuvieron fuertes recesiones y economías con alta volatilidad.

A partir de la Gráfica 3, además, se puede deducir un comportamiento que respetan la mayoría de los países estudiados: dentro del período 1970-2010, los países (salvo las excepciones de Alemania y el Reino Unido) exhiben una tasa de crecimiento de consumo eléctrico mayor a la tasa de crecimiento del producto per cápita, siendo más notable la diferencia observada en los países emergentes.

2.3.2. Información de Estados de EE.UU

A los fines de ampliar el análisis, se consideró información de la BEA, la cual incluye datos de PBI real per cápita -dólares encadenados a 1997- por Estado, desde 1987 a 1997 en base a la metodología industrial SIC, y desde 1997 a 2013 en base a la metodología NAICS. Por medio del empalme de las series se logró construir una serie desde 1987 a 2013 (27 datos). Asimismo, este organismo contaba con información de población por Estado desde 1969 a 2012.

En la Tabla 6 se presentan las tasas de variación promedio por década del PBI per cápita en dólares por Estado de EE.UU., calculadas a partir de los datos relevados:

TABLA 6 - PBI PER CÁPITA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR ESTADOS

País	1990-2000	2000-2010
Promedio	2.42%	0.35%
California	2.20%	0.53%
Colorado	3.52%	-0.15%
Florida	1.69%	-0.08%
Massachusetts	3.00%	0.92%
Nebraska	2.55%	1.58%
Nevada	1.33%	-0.99%
Texas	2.67%	0.62%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE LA BEA

La Tabla 6 permite apreciar una clara desaceleración en la tasa de crecimiento económico de los distintos Estados de EE.UU. Esta situación, como ya fue mencionado, responde a factores estructurales cada vez menos favorables, como son las menores tasas de crecimiento poblacional, menores tasas de inversión y menor incorporación tecnológica al encontrarse en la frontera de invenciones.

En particular, la fuerte caída de la tasa promedio en la última década responde a una situación coyuntural, como fue la crisis internacional, que potenció la dinámica que se venía observando hace algunas décadas. Por ejemplo, el estado de California experimento un crecimiento medio de 0.6%, mientras que Texas lo hizo con una tasa de 0.7%.

Por su parte, la State Energy Data System (SEDS) de la EIA contiene información del consumo de energía eléctrica para los distintos Estados de la muestra para el período 1960 a 2012 (53 datos).

La Tabla 7 presenta las tasas de variación promedio por década del consumo de energía por Estado de EE.UU., calculadas a partir de los datos relevados:

TABLA 7 - CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: TASAS MEDIAS DE CRECIMIENTO Y PROMEDIO POR ESTADO

País	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010
Promedio	4.25%	3.07%	2.68%	1.43%
California	3.51%	2.34%	1.46%	0.58%
Colorado	6.82%	3.97%	3.40%	2.09%
Florida	6.10%	4.69%	3.16%	1.67%
Massachusetts	3.05%	3.17%	1.31%	0.99%
Nebraska	3.49%	2.66%	3.14%	2.06%
Nevada	6.22%	4.62%	5.45%	1.97%
Texas	0.55%	0.06%	0.81%	0.66%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE LA EIA

En la Tabla 7 se puede observar que el consumo de electricidad tiene un crecimiento promedio positivo en todas las décadas. No obstante, es clara la desaceleración de dicha tasa a lo largo de los años, a excepción de los Estados de Nebraska, Nevada y Texas, los cuales en la década de 1990 - 2000 han experimentado un incremento en su tasa de crecimiento promedio respecto a la década anterior. A nuestro entender, esta situación se explica por la importancia de la industria minera en dichos Estados, así como por sus esquemas productivos, característicos por ser intensivos en el consumo de electricidad.

En la última década, la crisis económica y el estancamiento de la actividad han llevado a una fuerte desaceleración en la tasa de crecimiento promedio del consumo de electricidad. Resulta llamativa la caída de dicha tasa en Nevada, pasando de un 5.45% a 1.97% en la década de 2000 - 2010.

Teniendo en cuenta la información disponible y la necesidad de comparar series de tiempo homogéneas, se pudo construir una base de datos para los Estados, compuesta por información para California, Colorado, Florida, Massachusetts, Nebraska, Nevada y Texas en el período 1987 a 2012 (26 datos). A pesar de no contar con 40 años de datos, el análisis resulta igualmente válido en términos estadísticos, dado que la muestra utilizada sigue siendo lo suficientemente grande.

Asimismo, del análisis de las dinámicas, se observa que los Estados de EE.UU. corroboran lo observado para el país. No obstante, el análisis de estructuras económicas más chicas y similares a Chile permite obtener conclusiones comparativas más válidas.

2.4. METODOLOGÍA UTILIZADA

Para el análisis internacional de la relación entre consumo y PBI per cápita, se han seleccionado 14 países (incluido Chile) y 7 Estados de EE.UU. con información extraída de fuentes confiables tales como el IMF, el WB, la IEA, UN y la BEA.

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.

A continuación se procederá a describir cada uno de los puntos mencionados.

2.4.1. Análisis Gráfico

El análisis gráfico de los datos constituye una herramienta de suma importancia, y resulta necesario antes de realizar cualquier estudio cuantitativo sobre la información recopilada. Por un lado, permite describir y resumir la información, lo cual resulta extremadamente útil cuando se cuenta con una serie de datos extensa como es el caso de este estudio. Por otro lado, posibilita tener una idea de los resultados que se obtendrán en el análisis cuantitativo de los datos, lo que permite al investigador detectar inconsistencias o resultados contra intuitivos, así como formarse una primera conceptualización de la relación entre las distintas variables.

2.4.2. Análisis Econométrico

El análisis econométrico se basó en la estimación de regresiones econométricas considerando el Modelo de Ajuste Parcial.

El Modelo de Ajuste Parcial es ampliamente utilizado, y permite estimar elasticidades-precio e ingreso de corto y largo plazo sin datos sobre el stock de capital, habiendo sido utilizado por numerosos autores.

La idea central es que el consumo deseado es aquel que elegirían los usuarios si su stock de equipos estuviera en su óptimo de largo plazo. Y así sería todo el tiempo si no fuera intolerablemente costoso ajustar al instante el stock de equipos cuando cambia el precio de los mismos, el precio de la electricidad, el de los energéticos sustitutos, o el ingreso. Por lo tanto, en un momento dado el stock de equipos y el consumo de energía serán distintos al equilibrio de largo plazo.

El modelo supone que el consumo de energía eléctrica deseado en un momento t (C_t^*) depende del precio de la energía (P_t) y del ingreso Y_t (para simplificar la notación se omiten el resto de las variables que influyen sobre la demanda de electricidad) bajo la siguiente forma funcional:

$$\ln(C_t^*) = \alpha + \beta \times \ln(P_t) + \theta \times \ln(Y_t) + \mu_t \quad (1)$$

Donde el término α hace referencia a la constante de la ecuación, mientras que los coeficientes β y θ son la elasticidad precio e ingreso respectivamente. Finalmente, el término μ_t es el error de la estimación.

Si las personas ajustarán instantáneamente el stock de equipos cuando cambia el precio de la electricidad, o su ingreso, el consumo observado C_t sería igual al deseado C_t^* , y las elasticidades precio e ingreso de corto y largo plazo serían idénticas. Sin embargo, ni el ajuste del stock de equipos es instantáneo ni tampoco se puede observar C_t^* .

Para modelar el ajuste paulatino del stock de equipos suponemos que el consumo de electricidad cambia de un tiempo t al otro $-\ln(C_t) - \ln(C_{t-1})$ -, expresado en la siguiente ecuación:

$$\ln(C_t) - \ln(C_{t-1}) = \delta \times (\ln(C_t^*) - \ln(C_{t-1})) \quad (2)$$

Donde δ el coeficiente de ajuste. Vale decir, el cambio en el consumo en cualquier momento del tiempo t es alguna fracción δ del cambio deseado durante ese período.

Si $\delta = 1$ significa que el consumo observado es igual al deseado (el ajuste es instantáneo). Si $\delta = 0$ significa que nada cambia, puesto que el consumo actual en el tiempo t es el mismo que el observado en el tiempo $t - 1$. Típicamente se espera que $0 < \delta < 1$, puesto que es probable que el ajuste al consumo deseado sea incompleto debido a rigidez, inercia, etc. (de aquí el nombre de ajuste parcial).

El mecanismo de ajuste expresado en la ecuación (2) puede ser escrito alternativamente como:

$$\ln(C_t) = \delta \times \ln(C_t^*) + (1 - \delta) \times \ln(C_{t-1}) \quad (3)$$

La ecuación (3) muestra que el consumo de electricidad observado en el tiempo t es un promedio ponderado del consumo deseado en ese momento y el consumo observado en el período anterior, siendo δ y $(1 - \delta)$ las ponderaciones. Sustituyendo la ecuación (1) en la ecuación (3) se obtiene la función de corto plazo:

$$\ln(C_t) = \alpha\delta + \delta\beta \times \ln(P_t) + \delta\theta \times \ln(Y_t) + (1 - \delta) \times \ln(C_{t-1}) + \delta\mu_t \quad (4)$$

Puesto que la ecuación (1) representa la demanda de electricidad de largo plazo o de equilibrio, la ecuación (4) se puede denominar la función de demanda de electricidad de corto plazo, puesto que en el corto plazo el consumo de electricidad puede no ser necesariamente igual a su nivel de largo plazo.

De la ecuación (4) se deduce que la elasticidad ingreso de la demanda de corto plazo viene dada por el coeficiente $\delta\theta$. Luego, puede verificarse que la elasticidad ingreso de largo plazo, θ , puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{\delta\theta}{1 - (1 - \delta)} = \theta \quad (5)$$

A partir del modelo teórico, se propusieron distintos modelos utilizando los diversos datos recopilados, los cuales fueron evaluados en base al análisis de los siguientes indicadores estadísticos descriptivos:

- “*Std. Error*” es el error estándar de los coeficientes estimados, e indica su variabilidad probable en la muestra y, en consecuencia, su fiabilidad. El coeficiente estimado más o menos dos errores estándar, es un intervalo de confianza aproximadamente de 95%. Cuando los coeficientes del error estándar son grandes se traducen en intervalo de confianza amplios.
- “*t-Statistic*” es el estadístico t de Student, y proporciona una prueba de hipótesis de irrelevancia de la variable: que el parámetro poblacional verdadero, pero desconocido, es cero, y en consecuencia que la variable correspondiente no es una variable explicativa de la regresión y, por lo tanto, se puede omitir. Una forma de probar la irrelevancia de la variable con, digamos, un 5% de probabilidad de rechazarla en forma incorrecta, es comprobar si el cero está fuera del intervalo de confianza de 95% para el parámetro. Dado que el estadístico t es la relación entre el coeficiente estimado y su error estándar, si es cero se encuentra fuera del intervalo de confianza de 95%, y el

estadístico t debe tener un valor absoluto mayor que 2. En consecuencia, se puede probar rápidamente la irrelevancia, a nivel de confianza de 5%, viendo si el estadístico t de Student tiene valor absoluto mayor a 2.

- “*Prob.*” representa el valor de probabilidad asociado con cada estadístico t . Es decir, la probabilidad de obtener un valor absoluto del estadístico t cuando menos tan grande, en valor absoluto, al que se obtuvo, suponiendo que es verdadera la hipótesis de irrelevancia. Por lo tanto, representa el criterio de rechazo de la hipótesis nula de significatividad basado en la probabilidad de cometer error tipo 1, siendo el calor de corte de 1%, 5% y 10% de probabilidad.
- “*R-squared*” es un indicador muy utilizado para medir la bondad de ajuste, o facilidad de pronóstico de la variable endógena (a explicar) basada en las variables exógenas (explicativas) que se incluyen en la regresión. R^2 mide cuanto de la variabilidad de la variable a explicar es determinada por la variabilidad de la variable exógena. Es decir, el éxito de la ecuación de regresión, dentro de la muestra, para predecir la variable endógena. Si en la regresión se incluye una ordenada al origen (la constante), como casi siempre se hace, R^2 debe estar entre 0 y 1.
- “*Adjusted R-squared*” se puede interpretar igual que R^2 ; la diferencia es que incorpora correcciones de acuerdo con los grados de libertad que se usaron para ajustar el modelo (los grados de libertad dependen del tamaño de la muestra y de la cantidad de variables exógenas utilizadas).
- “*F-statistic*” es un estadístico que se emplea para comprobar la hipótesis de que los coeficientes de todas las variables en la regresión, excepto la ordenada al origen, son cero. Es decir, permite comprobar si, consideradas como un conjunto, las variables incluidas en el modelo tienen algún valor predictivo.
- “*Prob (F-statistic)*” es el valor de probabilidad del estadístico F , y expresa el nivel de significatividad al cual se puede rechazar la hipótesis de que el conjunto de las variables explicativas no tiene valor predictivo.

2.4.3. Análisis Estadístico no Paramétrico

El análisis no paramétrico se basa en el estudio de modelos estadísticos cuya distribución subyacente no se ajusta a los llamados criterios paramétricos. Es decir, que su distribución no puede ser definida *a priori*, o bien es necesaria la generación de supuestos sobre la distribución de los datos.

Es importante mencionar que si la distribución de los datos se ajusta a un tipo de distribución conocida, existen otros métodos que, en la práctica, son más aconsejables. Asimismo, la potencia de las pruebas no paramétricas es menor que la potencia de las pruebas paramétricas equivalentes.

Independientemente de ello, estos testeos permiten agregar información al estudio de manera intuitiva y de fácil interpretación, para muestras independientes. Asimismo, no exigen establecer supuestos sobre la distribución estadísticas de las series.

La prueba de la media es una prueba no paramétrica que se fundamenta en analizar si las medias de las dos poblaciones son estadísticamente distintas. La hipótesis de esta prueba, con distribución t de Student, pueden ser definidas como:

$$H_0) \text{ Media 1} - \text{Media 2} = 0 \quad (6)$$

$$H_0) \text{ Media 1} - \text{Media 2} \neq 0 \quad (7)$$

Por lo tanto, rechazando la ecuación (6) estaríamos asumiendo que las medias de dos muestras independientes son estadísticamente distintas. No hay un valor mágico de corte, pero en general se acepta que los valores de probabilidad menores a 0.1 son una fuerte evidencia que las medias son distintas.

La prueba de la mediana es una prueba no paramétrica que podemos considerar un caso especial de la prueba de chi-cuadrado. Básicamente, este test se fundamenta en analizar si las medianas de las dos poblaciones son distintas, determinando si pertenecen a la misma población o no.

El test se basa en que si las dos medianas son iguales, la proporción de casos de cada muestra que son mayores o menores que la mediana global serán iguales. Pero por el contrario, si ambas medianas son diferentes, la proporción de casos por encima o por debajo de la mediana global serán significativamente diferentes en ambas muestras. Por tanto, el set de hipótesis se encuentra definido por:

$$H_0) \text{ Mediana 1} - \text{Mediana 2} = 0 \quad (8)$$

$$H_1) \text{ Mediana 1} - \text{Mediana 2} \neq 0 \quad (9)$$

Por medio del análisis del estadístico crítico, y la probabilidad asociada podemos rechazar o aceptar la hipótesis nula. Cabe resaltar, que el estadístico se compara con una $N \sim (0,1)$ al ser un test asintótico. No hay un valor mágico de corte, pero en general se acepta que los valores de probabilidad menores a 0.1 son fuerte evidencia que las medianas son distintas.

2.5. RESULTADOS

Una vez explicada la metodología de trabajo, a continuación se exhiben los resultados de los análisis anteriormente mencionados, tanto los cualitativos como cuantitativos.

2.5.1. Análisis Cualitativo: Análisis Gráfico

Para realizar el análisis cualitativo de los datos, se han utilizado dos tipos de gráficos:

- Gráficos de dispersión: los datos se muestran como un conjunto de puntos, cada uno con el valor de una variable que determina la posición en el eje horizontal, y el valor de la otra variable determinado por la posición en el eje vertical. Un gráfico de dispersión puede sugerir varios tipos de correlaciones entre las variables: positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas). Uno de los aspectos más poderosos de un gráfico de dispersión, sin embargo, es su capacidad para mostrar las relaciones no lineales.
- Gráficos lineales / tendencias: en un gráfico lineal, se grafican los valores en dos ejes cartesianos ortogonales entre sí. Este tipo de gráficos (así como también los de dispersión) sirven para mostrar las tendencias de las series representadas, las cuales son una de las herramientas más valiosas dentro de un análisis gráfico.

En el ANEXO I – RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO / PBI – GRÁFICOS DE DISPERSIÓN Y TENDENCIA se muestran los gráficos de dispersión y lineales.

Los mismos fueron realizados utilizando la información de la IEA y UN para los datos comprendidos dentro del período 1970 - 2010. En cada uno de ellos puede apreciarse la existencia de correlación positiva entre ambas variables, en algunos países más fuerte que en otros.

Además, se aprecia que existen observaciones donde el PBI cae y el consumo de energía se mantiene estable, sin reaccionar a dicha caída. Si observamos el caso de Argentina, esto tiene

lugar en los años 1990 y 2002. A saber, estos años fueron años de crisis económica en el país. Análogamente, en Brasil en los años 1983 y 1992 se presenta la misma situación. De este análisis, se concluye que la demanda de electricidad mantiene un comportamiento tendencial, lo que lo vuelve menos elástico a cambios coyunturales bruscos de corto plazo en el PBI –crisis económica-. En econometría, esto puede modelarse a través de la incorporación de términos autorregresivos y/o de tendencia.

De manera más notable, en el caso de las gráficas de dispersión del grupo de países desarrollados se observa una caída en la pendiente. Esta situación se asocia a un desacoplamiento de las economías al llegar a mayores niveles de ingreso. España y Portugal son dos excepciones a esta tendencia: los problemas estructurales de estas economías así como los factores que mitigan el desacoplamiento económico –explicados con anterioridad- explican estas dinámicas.

Además, los gráficos de dispersión permiten la comparación entre grupos de países, donde se observa una característica muy importante. Mientras en EE.UU. se muestra una correlación fuerte entre las variables (el coeficiente de correlación asciende a 0.995), Perú exhibe una correlación positiva pero de menor intensidad (0.612). El coeficiente de correlación calculado para dos muestras (X e Y) de tamaño N se define como sigue:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x^*)(y_i - y^*)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x^*)^2 \sum_{i=1}^N (y_i - y^*)^2}} \quad (10)$$

Donde x^* e y^* constituyen las medias de las muestras.

La Tabla 8 permite observar los diferentes valores del coeficiente de correlación correspondientes a la muestra de países bajo estudio:

TABLA 8 - COEFICIENTES DE CORRELACIÓN POR PAÍS

País	Coefficiente
Emergentes	0.877
Argentina	0.773
Brasil	0.915
Perú	0.612
Uruguay	0.950
Colombia	0.985
México	0.915
Chile	0.986
Desarrollados	0.975
Alemania	0.953
España	0.989
Reino Unido	0.979
Nueva Zelanda	0.941
EE.UU	0.995
Australia	0.986
Portugal	0.983
Estados	0.926
California	0.964
Colorado	0.944
Florida	0.918
Massachusets	0.976
Nevada	0.698
Nebraska	0.991
Texas	0.987

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

Como puede apreciarse en la Tabla 8, el grupo de países desarrollados, y los Estados de EE.UU., en promedio poseen un coeficiente de correlación más alto que el grupo de los países en vías de desarrollo. Entendemos que esto se asocia a la mayor volatilidad de los países emergentes.

Por su parte, el análisis a partir de gráficas de dispersión también se ha realizado para los Estados de EE.UU., donde se observa una relación positiva entre las variables. De igual modo, la crisis económica internacional distorsiona ciertas observaciones producto del comportamiento tendencial. De estos Estados, resulta llamativo el comportamiento de Nevada y Colorado. En ambos Estados la crisis económica ha sido muy fuerte. Sin embargo, la demanda de electricidad es inelástica a dichos cambios en el corto plazo (comportamiento tendencial).

En conclusión, los gráficos de dispersión permiten observar la relación positiva entre el consumo de electricidad y el PBI per cápita en la muestra. No obstante, el comportamiento tendencial afecta el análisis en ciertos casos. Independientemente de ello, se puede observar una desacople económico en los países desarrollados alcanzado cierto nivel de desarrollo económico.

Los gráficos tendenciales (ver ANEXO I – RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO / PBI – GRÁFICOS DE DISPERSIÓN Y TENDENCIA) de los países emergentes fueron realizados utilizando la información de la IEA y UN para los datos comprendidos dentro del período 1970-2010. Como puede verse, las series del PBI per cápita (PPP) de los países emergentes presentan una elevada volatilidad. Sin embargo, puede observarse que el PBI per cápita y el consumo de energía eléctrica dentro del período manifiestan tendencias crecientes. Asimismo, se observa una menor respuesta a caídas del producto. Esto último es completamente consistente con lo estudiado en los gráficos de dispersión, donde se encontró que la correlación entre ambas variables para todos los países era positiva, pero con un comportamiento autorregresivo.

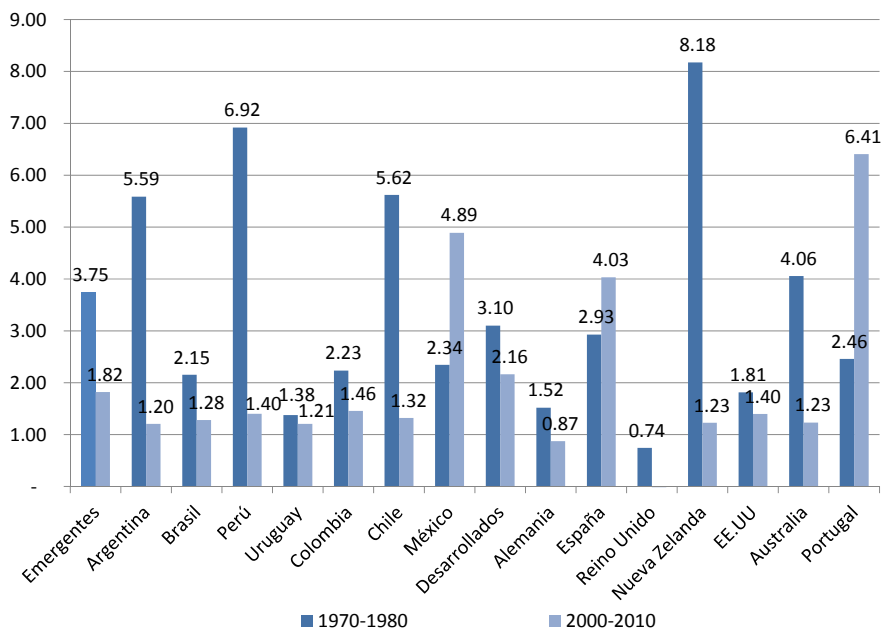
Los gráficos tendenciales (ver ANEXO I – RELACIÓN CONSUMO ELÉCTRICO / PBI – GRÁFICOS DE DISPERSIÓN Y TENDENCIA) de los países desarrollados fueron realizados utilizando la información de la IEA y UN para los datos comprendidos dentro del período 1960-2010. Si bien las series de PBI per cápita (PPP) presentan diferencias a las observadas para los países emergentes, puede observarse que la tendencia es la misma para todos los países de la muestra estudiada: 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 estudiado. No obstante, en los países desarrollados, 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. Estos resultados son completamente consistentes con lo estudiado en los gráficos de dispersión.

Del análisis de los gráficos por Estados de EE.UU., se corroboran las dinámicas descriptas hasta el momento. En este caso, se puede observar el impacto de la crisis económica producto de la explosión de la burbuja inmobiliaria sobre el consumo de electricidad en regiones como Florida o California. Resulta llamativa la fuerte caída observada en Nevada, volviendo a niveles de consumo observados en el año 1994.

Con el objetivo de analizar en mayor detalle los resultados obtenidos hasta el momento, en la Gráfica 4 se presenta, para dos décadas diferentes –la primera y última de nuestra base de datos-, una aproximación de la elasticidad para todos los países de la muestra. La misma puede ser aproximada a partir de la siguiente fórmula:

$$I_t = \frac{\text{Tasa de Crecimiento Anual Promedio Consumo Eléctrico}_t}{\text{Tasa de Crecimiento Anual Promedio PBI per cápita}_t} \quad (11)$$

GRÁFICO 4 - COEFICIENTE I PARA TODOS LOS PAÍSES DE LA MUESTRA

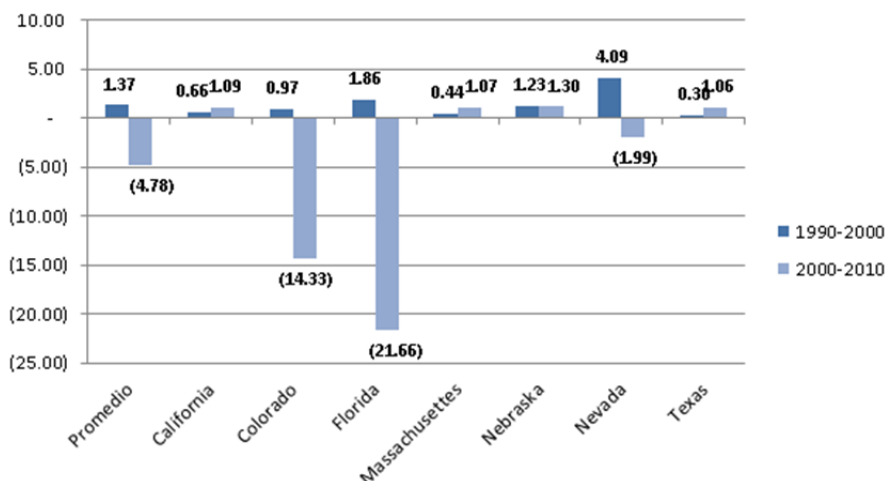


FUENTE: ELABORADO EN BASE A LOS DATOS DE LA IEA Y UN

Como puede observarse en la Gráfica 4, para el período 1970 - 1980 los valores de elasticidad son mayores que para el período 2000 - 2010 para todos los países y Estados de EE.UU., salvo marcadas excepciones (España, Portugal y México). Esto responde en gran medida al desacople económico, que hace que la elasticidad del consumo de electricidad respecto a la demanda converja a cero (inelástica). Teniendo en cuenta que el coeficiente *I* puede interpretarse como la cantidad de unidades de energía que se necesitan para producir una unidad de producto, los resultados sugieren que los países se han vuelto más eficientes en términos energéticos a través de los años. Ahora bien, sin considerar a las excepciones mencionadas con anterioridad, los valores del coeficiente *I* son mayores en promedio para los países emergentes que los desarrollados.

Asimismo, se calcularon las tasas de elasticidad promedio, a partir de la ecuación (11), para los distintos Estados seleccionados, y para la primer y última década de la muestra. En la Gráfica 5 se presentan los resultados:

GRÁFICO 5 - COEFICIENTE I PARA TODOS LOS ESTADOS DE EE.UU. DE LA MUESTRA



FUENTE: ELABORADO EN BASE A LOS DATOS DE LA BEA Y LA EIA

2.5.2. Análisis Cuantitativo: Elasticidad Ingreso de la Demanda

La estimación de regresiones econométricas basadas en el Modelo de Ajuste Parcial sirve como método para el cálculo de la elasticidad ingreso de la demanda y el testeo estadístico de lo descrito en el inciso anterior.

En base a las diversas fuentes de información se pudieron confeccionar distintas bases de datos, cada una con distintos horizontes históricos. Esto permite robustecer el análisis y poder identificar aquellos datos que mejor expliquen la relación entre las variables.

De este modo, se han estimado diferentes modelos para cada uno de los países de la muestra teniendo en cuenta distintas fuentes de información. Dos familias de modelos han sido planteadas. El primer modelo (que llamaremos MODELO POB) se define por la siguiente ecuación:

$$\ln(GWh_{C_t}) = \alpha + \ln(GDP_PPP_{C_t}) + \ln(POB_{C_t}) + \ln(GWh_{C_{t-1}}) + \mu_t \quad (12)$$

Donde,

α representa la constante de regresión,

$\ln(GWh_{C_t})$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país C en el momento t,

$\ln(GDP_PPP_{C_t})$ representa el logaritmo natural del PBI per cápita (PPP) del país C en el momento t,

$\ln(POB_{C_t})$ representa el logaritmo natural de la población del país C en el momento t,

$\ln(GWh_{C_{t-1}})$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país C en el momento t - 1, y

μ_t representa el término de error.

La inclusión de la variable PBI per cápita (PPP) se basó en la relación que se pudo comprobar que existe a partir del análisis gráfico de los datos. Por otro lado, la inclusión de la variable población se justifica en el hecho de que la misma permite capturar el crecimiento vegetativo de la demanda, lo cual no puede ser explicado por la variable PBI per cápita. El término autorregresivo hace referencia al crecimiento tendencial de la demanda de electricidad.

Por su parte, el segundo modelo (que llamaremos MODELO PBI), que no considera el efecto poblacional directamente (aunque si a través del crecimiento económico), se define como:

$$\ln(GWh_{C_t}) = \alpha + \ln(GDP_PPP_{C_t}) + \ln(GWh_{C_{t-1}}) + \mu_t \quad (13)$$

Dónde,

α representa la constante de regresión,

$\ln(GWh_{C_t})$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país C en el momento t,

$\ln(GDP_PPP_{C_t})$ representa el logaritmo natural del PBI per cápita (PPP) del país C en el momento t,

$\ln(GWh_{C_{t-1}})$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país C en el momento t - 1, y

μ_t representa el término de error.

A los fines prácticos, se ha testeado cada modelo para cada país, utilizando, en primer lugar, la base de datos conformado por la información de la IEA y UN. Posteriormente, se han corrido las regresiones utilizando la base de datos del IMF y WB. Es decir, que para cada país se simularon 4 regresiones. Los resultados se resumen en la Tablas 9 y 10:

TABLA 9 - REGRESIONES POR PAÍS, POR MODELO Y POR BASE DE DATOS: BASE DE DATOS IEA+UN

País	Argentina		Brasil		Perú		Uruguay		Chile		Colombia		México		
	Modelos	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI
α	-16.6***	-1.02**	-4.08*	-0.51	-	15.1***	-0.86*	-	-	-	-	-0.46	-1.03	-	0.08
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	0.30****	0.15**	0.17**	0.17**	0.46***	0.12*	0.30***	0.26***	0.25***	0.27***	0.29*	0.28*	0.11*	0.07	
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.63***	0.97***	0.85***	0.92***	0.50***	0.99***	0.74***	0.91***	0.70***	0.85***	0.89***	0.87***	0.75***	0.95***	
$\ln(POB_C_t)$	1.03***	-	0.24	-	0.94***	-	1.16**	-	0.66***	-	-0.05	-	0.55***	-	
R2	0.996	0.994	0.998	0.998	0.992	0.989	0.996	0.995	0.998	0.997	0.994	0.994	0.999	0.999	
Adjusted R2	0.995	0.994	0.998	0.998	0.992	0.989	0.995	0.994	0.998	0.997	0.994	0.994	0.999	0.999	
Observaciones	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

País	Alemania		España		Reino Unido		N. Zelandia		EE.UU.		Australia		Portugal	
	Modelos	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB
α	-14.93*	0.86***	3.86*	-	11.70*	1.34***	1.32	0.07	8.94***	0.44***	2.46	0.30	-	-0.34*
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	-0.12*	-0.02	0.29***	0.29***	0.143***	0.06***	0.14	0.06	0.46***	0.11**	0.12	0.02	0.33***	0.14***
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.96***	0.94***	0.87***	0.83***	0.86***	0.86***	0.95***	0.94***	0.86***	0.9***	0.98***	0.96***	0.74***	0.9***
$\ln(POB_C_t)$	0.92**	-	-0.29**	-	-0.64*	-	-0.15	-	-	-	-0.20	-	0.86***	-
R2	0.994	0.993	0.999	0.999	0.994	0.993	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
Adjusted R2	0.993	0.993	0.999	0.999	0.993	0.992	0.998	0.998	0.998	0.997	0.9992	0.999	0.999	0.999
Observaciones	50	50	50	50	50	51	50	50	50	50	50	50	50	50

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A EIA Y UN

TABLA 10 - REGRESIONES POR PAÍS, POR MODELO Y POR BASE DE DATOS: BASE DE DATOS IMF+WB

País	Argentina		Brasil		Perú		Uruguay		Chile		Colombia		México	
Modelos	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI
α	-0.21	0.18	0.34	0.63***	0.15	-0.30	0.06	0.15	-0.41	0.17*	0.76***	2.36*	1.42***	-1.40
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	0.22**	0.28***	0.20**	0.22**	0.44***	0.40***	0.26***	0.26***	0.07	0.23***	-0.06	0.20	-0.39*	0.54*
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.65***	0.76***	0.58***	0.80***	0.53***	0.68***	0.65***	0.711***	0.71***	0.79***	0.54***	0.66***	0.44**	0.65**
$\ln(POB_C_t)$	0.57	-	0.62*	-	0.30	-	0.57	-	1.01**	-	1.43**	-	1.77**	-
R2	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.94
Adjusted R2	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.95	0.98	0.93
Observaciones	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	14	31	13

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

País	Alemania		España		Reino Unido		N. Zelandia		EE.UU.		Australia		Portugal	
Modelos	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI
α	4.38**	4.20**	1.43***	0.96***	11.45***	-	0.48	2.89***	5.60***	3.39**	1.26***	4.24**	-0.78	0.62***
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	0.06	0.09**	0.03	0.16**	0.26***	-	0.08	0.178***	0.34***	0.17**	0.26**	0.24*	0.35**	0.14*
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.72***	0.61***	1.06***	0.79***	0.46***	-	0.90***	0.56***	0.68***	0.66***	0.79***	0.48*	0.55***	0.82***
$\ln(POB_C_t)$	-0.32	-	0.67***	-	-1.77***	-	-0.17	-	-0.77**	-	-0.46*	-	0.93	-
R2	0.94	0.88	1.00	0.99	0.99	-	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.95	1.00	1.00
Adjusted R2	0.93	0.86	0.99	0.99	0.99	-	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.94	1.00	1.00
Observaciones	31	22	31	31	31	-	31	23	31	31	31	13	31	27

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A IMF Y WB

De los distintos modelos propuestos para cada base de datos y por cada país, fue seleccionado, como fue explicado con anterioridad, el modelo que cumpliera con los siguientes tres requisitos:

- ajuste del modelo a los datos;
- significatividad individual de las variables; y
- razonabilidad de los parámetros del modelo.

En consecuencia, para los países Argentina, Perú, Uruguay, México, Chile y Portugal, se ha elegido el MODELO POB junto con la información de la IEA y UN. Las salidas de las estimaciones, para los países mencionados, muestran que todas las variables explicativas resultan significativas para los niveles de confianza usuales (1%, 5% y 10%), salvo las siguientes excepciones: Uruguay (la variable población es significativa al 5% y 10%) y México (la variable PBI per cápita es significativa al 10%).

Además, también puede apreciarse en las Tablas 9 y 10 que los ajustes (teniendo en cuenta el estadístico $R^2_{adjusted}$) de los modelos a los datos son muy buenos, ya que todos superan el 99%.

Para el caso de Colombia, Alemania, España, Nueva Zelanda, EE.UU y Australia se ha seleccionado el MODELO PBI (sin población) utilizando la información del IMF y WB. Las salidas de las estimaciones del modelo, para los países mencionados, muestran que las variables explicativas resultan significativas para diferentes niveles de confianza. Por ejemplo, si se tiene en cuenta el PBI per cápita se puede afirmar que:

- Colombia: la variable es significativa al 10%.
- Alemania: la variable es significativa al 5% y al 10%.
- España: la variable es significativa al 5% y al 10%.
- Nueva Zelanda: la variable es significativa a todos los niveles usuales de confianza.
- EE.UU: la variable es significativa al 5% y al 10%.
- Australia: la variable es significativa al 10%.

Por otro lado, si se tiene en cuenta el consumo rezagado un período, se puede afirmar que el mismo resulta significativo para todos los niveles de confianza y para todos los países, con la excepción de Australia, donde es significativo únicamente al 10%.

Además, también puede apreciarse en las estimaciones realizadas que los ajustes (teniendo en cuenta el estadístico $R^2_{adjusted}$) de los modelos son muy buenos, ya que todos superan el 90%, con la excepción de Alemania, donde el ajuste es un poco menor y alcanza el 86.5%. Es importante mencionar que, tanto para Alemania como para los demás países, el modelo elegido y propuesto resultó ser el que posee un mejor ajuste, y además, poseía parámetros con valores razonables.

El caso de Brasil representa una situación particular. En concreto, se ha seleccionado el Modelo POB, pero utilizando la información del IMF y WB. Las salidas de la estimación del modelo (estimado en base a diferentes fuentes de información) muestran que las variables explicativas resultan significativas para diferentes niveles de confianza:

- La variable población resulta significativa únicamente al 10%.
- La variable PBI per cápita (PPP) resulta significativa al 5% y al 10%.

- El consumo de electricidad rezagado un período en GWh resulta significativo para todos los niveles usuales de confianza.

Además, también puede verse que el ajuste del modelo a los datos (teniendo en cuenta el estadístico $R^2_{adjusted}$) es muy bueno, dado que el mismo asciende a 99.5%.

Otro caso especial ha sido Reino Unido, donde se ha estimado el siguiente modelo, utilizando la información de la IEA:

$$\ln(GWh_C_t) = \alpha + \ln(GDP_PPP_C_t) + \ln(GWh_C_{t-1}) + \mu_t \quad (14)$$

Dónde,

α representa la constante de regresión,

$\ln(GWh_C_t)$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país en el momento t ,

$\ln(GDP_PPP_C_t)$ representa el logaritmo natural del PBI total (PPP) del país en el momento t ,

$\ln(GWh_C_{t-1})$ representa el logaritmo natural del consumo eléctrico en GWh del país en el momento $t - 1$ y

μ_t representa el término de error.

La salida de la estimación del modelo muestra que las variables explicativas resultan significativas para diferentes niveles de confianza: mientras que la variable rezagada un período del consumo energético en GWh es significativa a todos los niveles usuales de confianza, la variable del PBI (PPP) únicamente lo es al 5% y al 10%.

Es importante mencionar que el caso del Reino Unido es particular, dado que es el único país en el cual se ha empleado la variable PBI a nivel total país. Esto se fundamenta en el hecho de que, luego de probar con las diferentes especificaciones ya mencionadas, aún no se lograba encontrar un modelo que cumpla con los requisitos impuestos inicialmente: buen ajuste a los datos, significatividad de las variables y razonabilidad de los parámetros.

Finalmente, al observar las salidas de regresión para todos los países de la muestra, puede concluirse que las variables resultan significativas en conjunto para todos los niveles usuales de significatividad, dado que en todos los casos el estadístico F de significatividad conjunta posee una probabilidad asociada igual a 0.

Para concluir con el análisis cuantitativo, a continuación se exponen las Tabla 11 y la Tabla 12, donde pueden observarse los valores de las elasticidades ingreso de corto y largo plazo por grupo de países:

TABLA 11 - ELASTICIDAD INGRESO PARA PAÍSES EMERGENTES

País	Fuente	Variables del Modelo	Elasticidad Corto Plazo	Elasticidad Largo Plazo
Argentina	IEA + UN	PBIpc y POB	0.30	0.81
Brasil	IMF + WB	PBIpc y POB	0.20	0.48
Perú	IEA + UN	PBIpc y POB	0.46	0.92
Uruguay	IEA + UN	PBIpc y POB	0.30	1.13
México	IEA + UN	PBIpc y POB	0.11	0.42
Colombia	IMF + WB	PBIpc	0.21	0.60
Chile	IEA + UN	PBIpc y POB	0.25	0.84
Promedio			0.26	0.74

FUENTE: ELABORADO EN BASE IEA, UN, WB E IMF

TABLA 12 - ELASTICIDAD INGRESO PARA PAÍSES DESARROLLADOS

País	Fuente	Variables del Modelo	Elasticidad Corto Plazo	Elasticidad Largo Plazo
Alemania	IMF + WB	PBIpc	0.09	0.23
España	IMF + WB	PBIpc	0.16	0.77
Reino Unido	IEA	PBI	0.06	0.42
Nueva Zelanda	IMF + WB	PBIpc	0.18	0.40
EE.UU.	IMF + WB	PBIpc	0.17	0.49
Australia	IMF + WB	PBIpc	0.24	0.44
Portugal	IEA + UN	PBIpc y POB	0.33	1.30
Promedio			0.18	0.58

FUENTE: ELABORADO EN BASE IEA, UN, WB E IMF

Las Tabla 11 y Tabla 12 demuestran como la elasticidad de corto plazo tiende a ser perfectamente inelástica. Esto se desprende del hecho que en el corto plazo el stock de capital, o bienes durables, se mantiene constante. Sin embargo, al variar dicho stock, en el largo plazo, la elasticidad adquiere valores superiores. Por lo tanto, si el producto crece un 1% en los países desarrollados, en el corto plazo el consumo aumentará 0.18%, mientras que en el largo plazo lo hará en un 0.58%.

Además, se puede observar que los países emergentes poseen niveles de elasticidad ingreso, tanto en el corto como en el largo plazo, superiores a los países desarrollados. Esto se relación con el desacoplamiento económico, las políticas de precios y la eficiencia energética.

En el caso concreto de los Estados de EE.UU., se realizó un análisis análogo al realizado para los distintos países. En resumen, se utilizaron los Modelos POB y PBI, descriptos con anterioridad, con los datos de la BEA e IIA. Los resultados de las regresiones por Estado de EE.UU. se presentan en la Tabla 13:

TABLA 13 - REGRESIONES POR PAÍS, POR ESTADOS DE EE.UU., POR MODELOS

País	California		Colorado		Florida		Massachussets	
	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI
α	-0.13	2.8***	-2.6**	-0.38	-2.14	-0.26	10.59*	2.80***
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	0.29***	0.29***	0.14**	0.2***	0.29**	0.24**	0.41***	0.31***
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.19	0.51***	0.66***	0.85***	0.66***	0.82***	0.44***	0.43***
$\ln(POB_C_t)$	0.40**	-	0.3*	-	0.19	-	-0.57	-
R2	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97
Adjusted R2	0.97	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97
Observaciones	25	25	25	25	25	25	25	25

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

País	Nebraska		Nevada		Texas	
	POB	PBI	POB	PBI	POB	PBI
α	-16.01*	-1.052*	-5.99***	-11.7***	-2.75**	0.55*
$\ln(GDP_PPP_C_t)$	0.35	0.569**	0.38***	0.752***	0.75***	0.480**
$\ln(GWh_C_{t-1})$	0.36*	0.505**	0.26	1.370***	-0.09	0.55***
$\ln(POB_C_t)$	1.32*	-	0.66***	-	0.51***	-
R2	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.98
Adjusted R2	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98
Observaciones	25	25	25	25	25	25

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A IEA Y WB.

Del análisis de las regresiones, se observa que el modelo sin población tiene una mejor especificación a pesar de renunciar a un mayor ajuste del modelo. Sin embargo, dado los criterios impuestos y la necesidad de poseer parámetros significativos estadísticamente, se decidió elegir como mejor modelo la especificación sin población.

Ahora bien, si observamos el caso de Nevada, el modelo sin población muestra regresores significativos al 1% de confianza, y un ajuste elevado (superior a 0.98). No obstante, el cálculo de la elasticidad de largo plazo no fue coherente desde un punto de vista económico. Por lo tanto, fue utilizado el modelo alternativo con población.

A continuación se presenta la Tabla 14, donde se exponen los coeficientes de elasticidad ingreso por estado:

TABLA 14 - ELASTICIDAD INGRESO PARA ESTADOS

País	Fuente	VARIABLES DEL MODELO	Elasticidad Corto Plazo	Elasticidad Largo Plazo
California	BEA	PBIpc	0.30	0.61
Colorado	BEA	PBIpc	0.19	1.23
Florida	BEA	PBIpc	0.24	1.30
Massachusetts	BEA	PBIpc	0.31	0.55
Nebraska	BEA	PBIpc	0.57	1.15
Nevada	BEA	PBIpc y POB	0.37	0.50
Texas	BEA	PBIpc	0.48	1.07
Promedio			0.35	0.92

FUENTE: ELABORADO EN BASE A BEA.

Del análisis de Tabla 14, se observa que la elasticidad de corto plazo tiende a ser perfectamente inelástica. Esto se traduce en que en este plazo de tiempo el stock de capital se mantiene constante. La elasticidad de largo plazo es superior en todos los casos, y en muchos de los Estados es elástica respecto al ingreso. Es decir, que la variación de 1% del ingreso de las personas genera un impacto de más de 1% sobre la demanda de electricidad. Tal es el caso de Texas, Nebraska, Colorado y Florida.

Se recomienda la lectura del ANEXO II - RELACIÓN CONSUMO ELECTRICO / PBI – RESULTADOS MODELOS.

2.5.3. Estadística No Paramétrica: Tests de Media y Mediana

Los tests de media y mediana se han empleado con el objetivo de testear las dinámicas detectadas con anterioridad: los países emergentes tienen una elasticidad ingreso superior a los países desarrollados.

Para lo mismo, se construyeron dos muestras utilizando variables *dummy* para comparar la elasticidad de los países emergentes y los desarrollados. La *dummy* es una variable dicotómica que adquiere valores 0 cuando se trata de un país emergente, y 1 para los desarrollados.

El análisis fue realizado utilizando el programa Stata 11, y en base a la información de la IEA y el WB. La utilización permite comprobar la robustez de los resultados. Asimismo, se considera que la elasticidad ingreso viene definida como el cociente entre las variaciones porcentuales.

En la Tabla 15 se presenta una comparación de las bases de datos utilizadas para el estudio:

TABLA 15 - COMPARACIÓN BASES DE DATOS

EIA

Categoría	PBI PPP	Consumo EE	Intensidad
Desarrollado	23,540	540,847	22.98
Emergente	7,970	65,564	8.23
Total	15,755	303,205	19.25

WB

Categoría	PBI PPP	Consumo EE	Intensidad
Desarrollado	21,872	659,559	30.16
Emergente	7,206	45,111	6.26
Total	14,539	352,335	24.23

FUENTE: ELABORADO EN BASE A EIA Y WB.

En la Tabla 15 se observa que los valores promedio para los países emergentes y desarrollados no son muy distintos entre las bases empleadas. Sin embargo, se nota que los países emergentes tienen un valor promedio muy inferior a los desarrollados, tanto en nivel de consumo, de PBI per cápita y de intensidad energética.

Ahora bien, la validez del test de media reside en que las muestras sean independientes. Analizando la correlación entre la elasticidad de los países emergentes y los desarrollados se observa que la misma es muy inferior a 0.1, por lo que podemos determinar que las mismas son independientes.

Aún más, la no autocorrelación interna de las muestras es un elemento muy importante para asumir la validez del test. De todos modos, al analizar la correlación entre el nivel de elasticidad y la serie rezagada un período, se demuestra que las mismas son un proceso ruido blanco. Por lo tanto, el testeo es válido.

A continuación se presenta la Tabla 16, donde se exponen los resultados de la prueba de medias:

TABLA 16 - TEST DE MEDIAS

Fuente	$r(\mu_1)$	$r(n_1)$	$r(\mu_2)$	$r(n_2)$	$r(t)$	$r(p)$
IEA	2.16	273	-0.39	273	1.34	0.18
WB	3.01	217	0.57	217	0.73	0.47

NIVELES CRÍTICOS DE PROBABILIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A EIA Y WB

Donde

$r(\mu_i)$ es el valor medio del indicador para la muestra i , siendo los países emergentes la muestra 1 y los países desarrollados la muestra 2,

$r(N-i)$ es el tamaño de la muestra i ,

$r(t)$ representa el estadístico t estimado, y

$r(p)$ el p -value asociado ha dicho estadístico.

En la Tabla 16 se puede apreciar cómo, los valores de la IEA y el WB demuestran que el valor medio de la elasticidad de los países desarrollados es inferior a la de los países emergentes. No obstante, el estadístico t , expresado como $r(t)$, y el valor de probabilidad $r(p)$ asociado, implica aceptar que dicha diferencia no es estadísticamente significativa, debido a que no son inferiores a los niveles críticos de probabilidad definidos en la Tabla 16. Si la probabilidad es inferior a

dichos valores podemos rechazar la hipótesis nula. Dicho resultado viene asociado a la alta volatilidad de los valores de los países emergentes, lo que le quita potencia al test.

Por su parte, el test de mediana sirve para testear el valor mediano de cada muestra. Nuevamente, empleando la variable *dummy* definida con anterioridad, podemos realizar dicho test. Los resultados se muestran en la Tabla 17:

TABLA 17 - TEST DE MEDIANAS

Fuente	r(z)	(1-normal(abs(r(z))))*2
IEA	0.18	0.85663
WB	3.61	0.00031***

NIVELES CRÍTICOS DE PROBABILIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A EIA Y WB

Dónde,

$r(z)$ representa el estadístico estimado, y

$(1-normal(abs(r(z))))*2$ el p-value asociado a dicho estadístico

De los resultados, se concluye que se acepta la hipótesis nula (la mediana de los emergentes es igual a los desarrollados) utilizando la muestra de la IEA, pero no sucede lo mismo con los datos del WB. Este análisis surge de comparar los valores del p-value con los niveles de probabilidad críticos definidos en la Tabla 17. Si la probabilidad es inferior a dichos valores podemos rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, los resultados carecen de robustez, producto de la volatilidad de los datos de los países emergentes.

De todos modos, los test demuestran que los países emergentes están caracterizados por un alto nivel de volatilidad en sus niveles de producto y consumo, muy distinto a los países desarrollados. Además, se demuestra que existen diferencias entre los valores medios, aunque los mismos no son lo suficientemente grandes como para aceptar que el valor medio de cada muestra es distinto estadísticamente.

2.6. CONCLUSIONES

El análisis de la relación entre el PBI per cápita y el consumo de electricidad constituye un elemento esencial para la proyección futura de la demanda de electricidad. Dicho estudio fue realizado en base a una muestra de 14 países y 7 Estados de EE.UU., utilizando fuentes de información variadas con el objetivo de otorgarle robustez al análisis. En una primera etapa se realizó un análisis gráfico de la series de tiempo, que permitió relevar ciertas dinámicas características. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis econométrico y estadístico, buscando testear las dinámicas observadas y esperadas.

En un primer lugar, 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 electricidad de los países desarrollados.

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.

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.

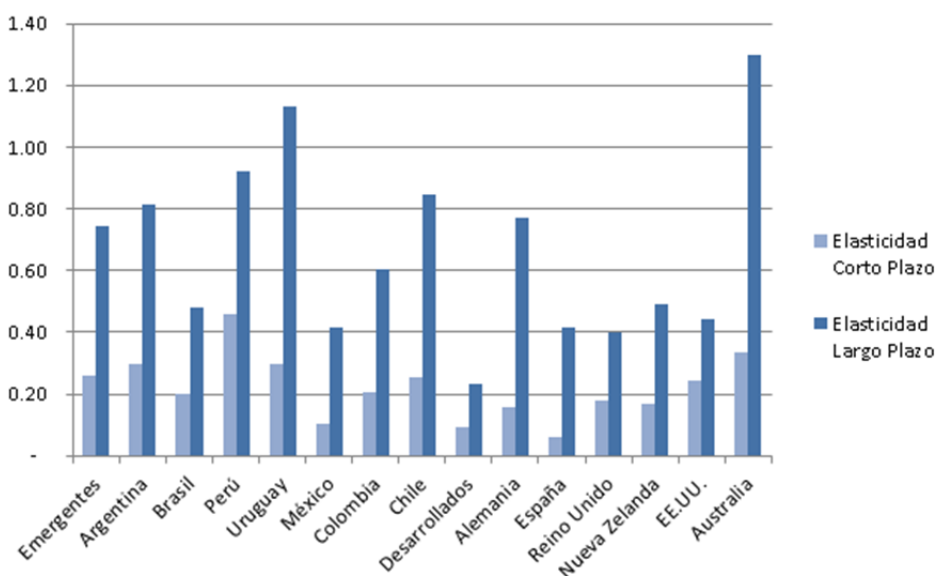
Este proceso, como fue explicado, se asocia al hecho de que desplazamientos a lo largo de la curva de demanda serán mucho mayores en el largo plazo que en el corto.

Si realizamos un análisis dinámico del comportamiento de la elasticidad, es posible observar que en la mayoría de los países la elasticidad cae, lo cual significa que con el tiempo se vuelven más eficientes en el uso de la electricidad. Los casos de México, España y Portugal llaman la atención, dado que estos países se vuelven menos eficientes como consecuencia de un aumento en la elasticidad ingreso del consumo eléctrico.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que el valor de las elasticidades es mayor para el grupo de países emergentes que para el grupo de países desarrollados. Esta situación implica que los países desarrollados, con menores tasas de crecimiento y un mayor desacoplamiento económico, son menos volátiles y mantienen un crecimiento más constante a lo largo del tiempo.

En la Gráfica 6 se muestran las elasticidades calculadas a partir de los modelos econométricos seleccionados:

GRÁFICO 6 - ELASTICIDADES DE CORTO Y LARGO PLAZO PARA LA MUESTRA DE PAÍSES



FUENTE: ELABORADO EN BASE A SALIDAS DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN

3. MODELOS DE PROYECCIÓN DE CONSUMO ANUAL DE ELECTRICIDAD POR SISTEMA

3.1. INTRODUCCIÓN

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.

En lo que sigue de este informe se presentará la información analizada y considerada para estimar modelos de regresión que resulten válidos para proyectar el consumo eléctrico anual de cada sistema.

3.2. METODOLOGÍA GENERAL

Cuando se trabaja con series de tiempo es importante tener en mente el concepto de estacionariedad. En presencia de “no estacionariedad débil” los tests estándar de significancia estadística no son válidos y cualquier inferencia a partir de ellos conduce a conclusiones erróneas. Por lo tanto, el planteo de los modelos de proyección a partir de series de tiempo requiere tomar en cuenta las propiedades estadísticas de las series para prevenir el planteo de modelos que reflejen regresiones espurias.

En términos generales, se dice que un proceso estocástico es estacionario si su media y su varianza son constantes en el tiempo, y si el valor de la covarianza entre dos períodos depende solamente de la distancia o rezago entre estos dos períodos de tiempo, y no del tiempo en el cual se ha calculado la covarianza. Es decir, que en una serie no estacionaria la varianza depende del tiempo, y tiende a infinito a medida que este último pasa; cualquier shock afecta permanentemente a sus procesos; oscilan ampliamente; y su autocorrelación tiende a 1.

Por lo tanto, el planteo de modelos de proyección econométrica deberá tomar en cuenta las propiedades estadísticas de las series para prevenir regresiones espurias. Afortunadamente, existen formas de advertir potenciales problemas en este sentido: a partir de los resultados de

los ajustes (elevados R^2 y valores muy bajos del estadístico de Durbin-Watson); los resultados del cálculo de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los residuos del ajuste; y los resultados de las pruebas de raíz unitaria de las variables del modelo (test Dickey Fuller Aumentado), como así también de los residuos del ajuste.

Independientemente de ello, si dos series son no estacionarias, con el mismo orden de integración y se encuentran cointegradas, implica que existe una relación de largo plazo entre las variables. La existencia de cointegración entre variables implica que existe una relación de largo plazo, en torno al estado estacionario, entre dos variables, y que los movimientos que las desvían de esa relación no pueden ser permanentes. Esto significa que ambas variables tienen una tendencia en común (o con alguna relación proporcional), o, alternativamente, que existe un componente no observable en común entre ambas series.

Ahora bien, la detección de cointegración se reduce a comprobar si los residuos de la regresión presentan estructura o no. En caso de ser estacionarios, podemos concluir que las series se encuentran cointegradas en el largo plazo, por lo que el modelo estimado es correcto estadísticamente.

En este capítulo, la construcción de modelos anuales se ha enfocado en el análisis de modelos ARIMA. En 1970, Box y Jenkins desarrollaron un cuerpo metodológico para liberarnos de la tarea de la especificación de los modelos, dejando que los propios datos temporales de la variable a estudiar nos indiquen las características de la estructura probabilística subyacente.

Esta metodología se diferencia de la utilizada en el capítulo 2, producto de que el objetivo final de esta sección es la proyección del consumo de electricidad. El Modelo de Ajuste Parcial se sustenta en una teoría económica y su objetivo final es la estimación estructural del modelo. La metodología ARIMA resulta más conveniente al momento de estimar el consumo de electricidad.

Dentro de esta familia de modelos, se encuentra aquellos que utilizan como especificación una o más variables exógenas al modelo "tradicional", aproximándonos al estudio de los conocidos como modelos de transferencia. Estos modelos no solo permiten describir la estructura probabilística subyacente a las series, sino también incluyen la relación con otras variables explicativas.

En cuanto a lo práctico, la metodología utilizada a lo largo de todo el estudio incluye la simulación de diversos modelos ARIMA, cada uno con una especificación distinta. Es importante mencionar que cada uno de ellos debe tener un sustento en la teoría económica, o bien, en el análisis empírico de los datos. De todos modos, modelos alternativos que repliquen la estructura interna de la serie son válidos al momento de proyectar series de tiempo.

A partir del resultado de las estimaciones, se evaluaron los siguientes parámetros de bondad de ajuste:

- “*Std. Error*” es el error estándar de los coeficientes estimados, e indica su variabilidad probable en la muestra y, en consecuencia, su fiabilidad. El coeficiente estimado, más o menos dos errores estándar, es un intervalo de confianza de 95%, aproximadamente. Cuando los coeficientes del error estándar son grandes se traducen en intervalos de confianza amplios.
- “*t-Statistic*” es el estadístico t de Student, y proporciona una prueba de hipótesis de irrelevancia de la variable: que el parámetro poblacional verdadero, pero desconocido, es cero, y en consecuencia que la variable correspondiente no contribuye con algo al pronóstico de la regresión y, por lo tanto, se puede omitir. Una forma de probar la irrelevancia de la variable con, digamos, un 5% de probabilidad de rechazarla en forma

incorrecta, es comprobar si el cero está fuera del intervalo de confianza de 95% para el parámetro. Dado que el estadístico t de Student es la relación entre el coeficiente estimado y su error estándar, si es cero se encuentra fuera del intervalo de confianza de 95%, y el estadístico t de Student debe tener un valor absoluto mayor que 2. En consecuencia, se puede probar rápidamente la irrelevancia, a nivel de confianza de 5%, viendo si el estadístico t de Student tiene valor absoluto mayor a 2.

- “*Prob.*” representa, el valor de probabilidad asociado con cada estadístico t . Es decir, la probabilidad de obtener un valor absoluto del estadístico t cuando menos tan grande, en valor absoluto, al que se obtuvo, suponiendo que es verdadera la hipótesis de irrelevancia. Es decir, representa el criterio de rechazo de la hipótesis nula de significatividad basado en la probabilidad de cometer error tipo 1, siendo el valor de corte de 1%, 5% y 10% de probabilidad.
- “*R-squared*” es un indicador muy utilizado para medir la bondad de ajuste, o facilidad de pronóstico de la variable endógena (a explicar) basada en las variables exógenas (explicativas) que se incluyen en la regresión. R^2 mide el éxito de la ecuación de regresión, dentro de la muestra, para predecir la variable endógena. Si en la regresión se incluye una ordenada al origen (la constante), como casi siempre se hace, R^2 debe estar entre 0 y 1.
- “*Adjusted R-squared*” se puede interpretar igual que R^2 ; la diferencia es que incorpora correcciones de acuerdo con los grados de libertad que se usaron para ajustar el modelo (los grados de libertad dependen del tamaño de la muestra y de la cantidad de variables exógenas utilizadas).
- “*F-statistic*” es un estadístico que se emplea para comprobar la hipótesis de que los coeficientes de todas las variables en la regresión, excepto la ordenada al origen, son cero. Es decir, permite comprobar si, consideradas como un conjunto, las variables incluidas en el modelo tienen algún valor predictivo.
- “*Prob (F-statistic)*” es el valor de probabilidad del estadístico F, y expresa el nivel de significado al cual se puede rechazar la hipótesis de que el conjunto de las variables explicativas no tiene valor predictivo.
- Criterios de Información (*Akaike* y *Schwarz*) son una medida de la calidad relativa de un modelo estadístico, para un conjunto dado de datos. Estos criterios manejan un *trade-off* entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del mismo. Se basa en la entropía de información: se ofrece una estimación relativa de la información perdida cuando se utiliza un modelo determinado para representar el proceso que genera los datos. Es decir, que este criterio no proporciona una prueba de un modelo en el sentido de probar una hipótesis nula, por lo que estos criterios pueden decir nada acerca de la calidad del modelo en un sentido absoluto.

Es preciso destacar que el objetivo final del estudio consiste en el cálculo de proyecciones y no solamente en la estimación de modelos estructurales de demanda. Por este motivo, la evaluación de los modelos de proyección estará basada, además, en su bondad de pronóstico. En el caso puntual de este estudio, las medidas de error de pronóstico consideradas serán el error medio absoluto porcentual (MAPE) y el coeficiente de Theil.

El error del pronóstico es la diferencia entre el valor real y el pronosticado del período correspondiente. Mientras el error medio absoluto porcentual (MAPE) mide el desvío absoluto porcentual del valor estimado para la variable dependiente con respecto al valor observado, el segundo está re-escalado de forma tal que toma valores entre 0 y 1, donde cero implica

perfecta predicción. En términos generales, cuando menor sea el error MAPE y Theil, mejor pronosticador es nuestro modelo. Asimismo, se pretende que dichos errores no sean producto de un sesgo en la estimación (que siempre nos encontremos por encima o debajo del valor real).

Una vez seleccionado el modelo de proyección, es necesaria la construcción de escenarios de proyección. Estos últimos se basan en la construcción de supuestos o hipótesis de trabajo sobre la evolución futura de las variables explicativas. Para lo mismo, es importante mencionar que la econometría podrá proyectar una cantidad de años menor o igual a la cantidad de años históricos.

Una mención especial requiere la construcción de escenarios donde el precio es una variable de importancia. Muchas veces los modelos econométricos poseen una buena bondad de predicción. Sin embargo, la incertidumbre sobre la evolución de las variables exógenas pueden aumentar los errores de proyección del modelo.

En último término, 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. De todos modos, esta tarea requiere evaluar las tasas de variación proyectadas econométricamente, porque si bien en muchos casos los modelos son correctos estadísticamente, los resultados empíricos son contraintuitivos.

En el ANEXO III - METODOLOGÍAS Y ASPECTOS CRÍTICOS PARA MODELAR SERIES DE TIEMPO, se amplía la explicación.

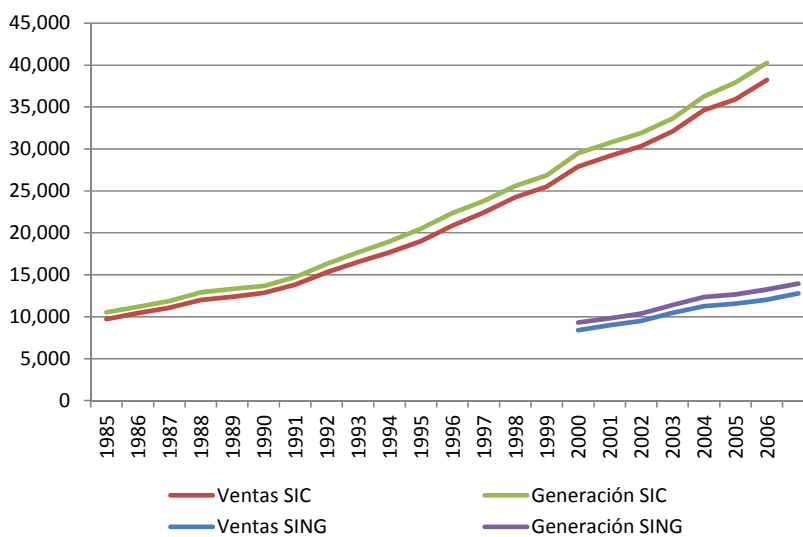
3.3. SISTEMAS SIC Y SING

A lo largo de esta sección se presenta la estimación de los modelos proyección del consumo de electricidad del SIC y SING de Chile. Distintos modelos fueron estimados, y los mejores, desde el punto de vista estadístico, fueron seleccionados a los fines de determinar la proyección futura de requerimientos de electricidad. La construcción de modelos con distinta periodicidad permite la comparación de los resultados obtenidos.

3.3.1. Información utilizada

A los fines prácticos, proyectar el consumo de electricidad, entendida como las ventas en GWh de cada sistema, corresponde a proyectar la generación bruta. En particular, el promedio histórico de las ventas corresponde al 94% de la generación bruta del SIC, mientras que en el SING dicho porcentaje equivale a 92%. Esos valores promedio de 6% y 8% corresponden a las pérdidas de transmisión y distribución. A continuación se presenta la Gráfica 7, donde se muestra la relación entre las ventas y la generación bruta del SIC y SING, que es estable a lo largo del tiempo:

GRÁFICO 7 - RELACIÓN VENTAS Y GENERACIÓN (GWH) BRUTA DEL SIC Y SING



FUENTE: ELABORADO EN BASE A DATOS DE LA CNE

En la Gráfica 7, se observa una relación clara entre las ventas y la generación bruta de electricidad. Sin embargo, el nivel de pérdidas aumenta conforme aumenta el nivel corriente transmitida por la red, siempre y cuando la sección de los conductores sea la misma. Independientemente de ello, de la Gráfica 7 se concluye que estimar las ventas es análogo a proyectar la generación bruta, dado que las pérdidas corresponden a un porcentaje marginal y despreciable.

Adicionalmente, y aún más relevante, el despacho de electricidad se realiza en función de los requerimientos de electricidad (es decir, siempre se ajusta la demanda).

Además, la utilización de la variable generación presenta dos ventajas importantes. En primer lugar, se utilizan datos que no son provistos directamente por las propias empresas y que podrían sesgar el análisis. Asimismo, la disponibilidad de series de generación bruta con distinta periodicidad y varios años permite realizar distintos modelos con mejor ajuste estadístico.

De este modo, fue considerada a la generación bruta (GWh) por sistema como variable a explicar. 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 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. Por cada región y para cada sector económico existen 4 series de tiempo con bases distintas, por lo que debieron ser empalmadas. A saber, la serie base 1986 abarca el período 1985 a 1998, mientras que la serie base 1995 incluye los años 1996 a 2004. Las últimas dos series, base 2003 y referencia 2008, abarcan los períodos 2003 a 2010, y 2008 a 2013, respectivamente. La superposición de años permitió la construcción de una única serie -base 1986- que abarca el período 1985 a 2013 (29 observaciones), por región y sector económico.

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. Por lo tanto, es importante que sean evaluados, ya que variaciones importantes en estas actividades podrían afectar de manera distinta y no tangencial el consumo de electricidad.

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 serie de población dentro de la zona de operación de cada sistema eléctrico fue realizada agregando la población total de cada región involucrada.

En tercer lugar, fue considerado 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 real 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, 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.

En último término, 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.

Por lo tanto, de la homogenización y selección de las distintas variables, se construyó una base de datos anual de 1990 a 2013 (24 observaciones) para el SIC, y 1991 a 2013 (23 observaciones) para el SING, que incluye, por sistema eléctrico y para cada año, el PBR ajustado en pesos constantes, el producto bruto ajustado minero, el producto bruto ajustado de la industria manufacturera, la población regional, el precio de la energía y el precio del cobre deflactado.

A continuación se presenta la Tabla 18, donde se presenta un resumen de las variables analizadas:

TABLA 18 - MODELOS ANUALES: VARIABLES RELEVADAS

Sistema Eléctrico	Variable	Unidad de Cuenta	Regiones	Fuente de Información	Período Original	Período Ajustado
SIC	Generación Bruta	GWh	III a X y XIV (Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Libertador O'Higgins, Maule, Bio Bio, Araucanía, Los Lagos y Los Ríos)	CNE	1980-2013	1990-2013
	PBR	Millones de pesos constantes	III a X y XIV (Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Libertador O'Higgins, Maule, Bio Bio, Araucanía, Los Lagos y Los Ríos)	BCC	1985-2013	1990-2013
	PBR Minería	Millones de pesos constantes	III a X y XIV (Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Libertador O'Higgins, Maule, Bio Bio, Araucanía, Los Lagos y Los Ríos)	BCC	1985-2013	1990-2013
	PBR Ind. Manufact.	Millones de pesos constantes	III a X y XIV (Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Libertador O'Higgins, Maule, Bio Bio, Araucanía, Los Lagos y Los Ríos)	BCC	1985-2013	1990-2013
	Población Regional	Miles de Personas	III a X y XIV (Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Libertador O'Higgins, Maule, Bio Bio, Araucanía, Los Lagos y Los Ríos)	INE	1990-2013	1990-2013
	Precio Energía	Pesos Reales por KWh	Alto Jahuel y Medio del SIC	CNE	1983-2013	1990-2013
	Precio Cobre Grado A	Dólares Reales por Tonelada Métrica	CIF European Ports	LME spot Price/CNE	1985-2013	1990-2013
SING	Generación Bruta	GWh	I,II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota)	CNE	1988-2013	1991-2013
	PBR	Millones de pesos constantes	I,II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota)	BCC	1985-2013	1991-2013
	PBR Minería	Millones de pesos constantes	I,II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota)	BCC	1985-2013	1991-2013
	PBR Ind. Manufact.	Millones de pesos constantes	I,II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota)	BCC	1985-2013	1991-2013
	Población Regional	Miles de Personas	I,II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota)	INE	1990-2013	1991-2013
	Precio Energía	Pesos Reales por KWh	Crucero y Medio del SING	CNE	1991-2013	1991-2013
	Precio Cobre Grado A	Dólares Reales por Tonelada Métrica	CIF European Ports	LME spot Price/CNE	1985-2013	1991-2013

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

La distinta periodicidad de la serie de generación bruta por sistema eléctrico permite la construcción de diversos modelos, no solo distintos en sus especificaciones, sino en los períodos de los datos. Ahora bien, teniendo en cuenta que ciertos precios, al igual que las dinámicas demográficas, no varían sustancialmente en corto períodos de tiempo, el consumo de electricidad se encuentra relacionado principalmente al nivel de actividad económica. Sin embargo, no se debe descartar un comportamiento estacional, vinculado a las cuestiones climáticas entre otras, que determinen el consumo de electricidad a paso trimestral.

En este contexto, fue necesario recopilar información del nivel de actividad trimestral de las regiones que abarcan el SING y el SIC. Con respecto a la primera, fue empleado el Índice de Actividad Económica Regional (INACER) publicado trimestralmente por el INE. La construcción de un índice base 1996=100 fue realizada a partir de las dos series publicadas por el organismo. La primera corresponde al índice base 1996, y abarca el período 1997 al primer trimestre del 2010. La segunda serie comienza en el primer trimestre del 2009 y finaliza en el

segundo trimestre del 2014, siendo su base el año 2003. Al empalmar ambas series, tomando como referencia las Regiones I, II y XV (Tarapacá, Antofagasta, y Arica y Parinacota), se construyó un número índice en términos constantes desde el primer trimestre de 1997 al segundo trimestre del 2014 considerando un período calendario de enero a diciembre.

Ahora bien, el INACER no cuenta con datos de la Región Metropolitana. Esta región corresponde a una de las principales dentro de la zona de operación del SIC. Por lo tanto, emplear el INACER implica construir modelos con datos no representativos de la región de interés. Por su parte, el PBR no cuenta con datos trimestrales. En este contexto, el PBI de Chile –a precios constantes- debe ser considerado. Si bien este indicador de actividad incluye otras regiones no vinculadas al SIC, lo cierto es que el SIC opera sobre 11 regiones, que además son las más importantes del país. Por lo tanto, este indicador será una aproximación válida.

El PBI trimestral es publicado por el Banco Central de Chile. El mismo, en precios constantes, corresponde a cuatro series que empalmadas permiten tener la evolución desde el primer trimestre de 1986 hasta el segundo de 2014. Las series utilizadas para la construcción de la serie son:

- Base 1986 - desde I/1986 a III-2001 considerando un período calendario de enero a diciembre,
- Base 1995 - desde I/1996 a IV/2003 considerando un período calendario de enero a diciembre,
- Base 2003 – desde I/2003 a III/2011 considerando un período calendario de enero a diciembre,
- Referencia 2008 – desde I/2008 a II/2014 considerando un período calendario de enero a diciembre,

Las series debieron ser empalmadas para su utilización.

De modo análogo, a paso mensual fue utilizado el Índice Mensual de Actividad Económica (IMACEC) publicado mensualmente por el Banco Central de Chile. El mismo se encuentra disponible para el período enero de 1986 a diciembre 2003 con base 1996; desde enero 2003 a enero 2012 con base 2003; y desde enero del 2008 a agosto del 2014 con base 2008. Por medio del empalme de las series se pudo construir una serie mensual desde enero de 1986 a agosto 2014.

Para mayor información dirigirse al ANEXO IV – MODELOS GENERACIÓN SING Y SIC.

3.3.2. Metodología utilizada

Como se explicó con anterioridad, es necesario analizar la estacionariedad de las series, tanto anuales, como trimestrales y mensuales. Los resultados del análisis arrojaron que todas las series utilizadas en el estudio son no estacionarias con un 5% de confianza (ANEXO IV – MODELOS GENERACIÓN SING Y SIC). Sin embargo, del análisis de los distintos modelos propuestos se observó, a partir del test de raíces unitarias sobre los residuos, que las series estaban cointegradas al largo plazo. Por lo tanto, los resultados obtenidos son válidos estadísticamente.

A los fines prácticos fueron propuestos 17 modelos anuales, 1 modelo trimestral considerando un período calendario de enero a diciembre, y 1 modelo mensual, tanto para el SIC como para el SING. De los mismos, fueron seleccionados aquellos con los mejores indicadores de bondad de ajuste y de pronóstico. A continuación, se explican los modelos propuestos.

a) Modelos Anuales

En un principio, fueron propuestos 17 modelos anuales con el objetivo de determinar aquel que pronostique mejor la generación bruta eléctrica. Cada uno de los modelos encuentra su sustento en la teoría económica y fue elaborado para cada uno de los sistemas eléctricos.

En primer lugar, la teoría establece que el consumo de electricidad se encuentra vinculado estrechamente con el nivel de actividad. Los requerimientos eléctricos para los procesos productivos residen en las leyes de la termodinámica. Asimismo, un mayor nivel de actividad económica implica mayores ingresos per cápita. Esta dinámica se traduce en un mayor consumo de los agentes económicos que retroalimenta el proceso anterior. Por lo tanto, en una primera instancia se puede establecer el siguiente modelo, el cual llamaremos MODELO GDP:

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_i) + \beta_2 Ar(1) + \mu_t \quad (15)$$

Donde,

ln(Gen_i) hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema *i*,

ln(PBI_i) se refiere al logaritmo natural del producto bruto de la región asociada al sistema *i*,

Ar(1) es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

La utilización de las variables con logaritmo natural facilita la comprensión de los coeficientes, entendidos como elasticidades parciales. Asimismo, el factor rezagado le agrega dinámica al modelo estimado, y captura el comportamiento inercial descrito en la sección anterior.

Existe un crecimiento vegetativo asociado al crecimiento de la población. Es sabido que a medida que aumenta el número de usuarios el consumo eléctrico aumenta, siempre que el consumo eléctrico per cápita no caiga. Por lo tanto, es importante analizar modelos que incluyan dicha dinámica. A continuación se presenta la ecuación propuesta, que denominaremos MODELO GDPPOB:

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_i) + \beta_2 \ln(POB_i) + \beta_3 Ar(1) + \mu_t \quad (16)$$

Donde,

ln(Gen_i) hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema *i*,

ln(PBI_i) se refiere al logaritmo natural del producto bruto de la región asociada al sistema *i*,

ln(POB_i) es el logaritmo natural de la población de la región asociada al sistema *i*,

Ar(1) es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

La teoría económica establece que si el costo o precio de un bien aumenta, la cantidad demandada de dicho bien se reduce. Este principio, conocido como la ley de demanda, se aplicaría de manera similar al consumo de electricidad. Por lo tanto, el modelo propuesto incluye el precio de la electricidad, y el nivel de actividad como drivers del consumo eléctrico. A continuación se presenta el modelo, que llamaremos MODELOS GDPPRE, propuesto:

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_i) + \beta_2 \ln(Precio_i) + \beta_3 Ar(1) + \mu_t \quad (17)$$

Donde,

ln(Gen_i) hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema *i*,

ln(PBI_i) se refiere al logaritmo natural del producto bruto de la región asociada al sistema *i*,

$\ln(\text{Precio}_i)$ hace referencia al logaritmo natural del precio de la electricidad en el sistema i ,

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

Asimismo, se ha considerado la relación entre el precio del cobre y el consumo de electricidad. Un alza en los precios del cobre implica una mayor actividad industrial y minera relacionada con las mayores ganancias. Esta dinámica genera, de manera indefectible, un mayor consumo de energía eléctrica. Un modelo que incluya el precio del cobre no debe desestimar el efecto que tiene la actividad económica y el precio de la electricidad sobre el consumo eléctrico. Por lo tanto, la ecuación propuesta es la siguiente, denominada MODELO GDPRECOCB:

$$\ln(\text{GEN}_i) = c + \beta_1 \ln(\text{PBI}_i) + \beta_2 \ln(\text{Cobre}) + \beta_3 \ln(\text{Precio}_i) + \beta_4 Ar(1) + \mu_t \quad (18)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(\text{PBI}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{Cobre})$ hace referencia al logaritmo natural del precio del cobre,

$\ln(\text{Precio}_i)$ hace referencia al logaritmo natural del precio de la electricidad en el sistema i ,

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

Ahora bien, los modelos anteriores consideran el producto total regional, aunque permiten el análisis sectorial. Esto es de suma importancia cuando consideramos la demanda de electricidad, donde el consumo industrial y minero son dos sectores de gran peso sobre el consumo total eléctrico del sistema. Por lo tanto, podemos definir 8 ecuaciones análogas en base al producto bruto industrial y minero por región del país (el nombre del modelo se obtiene de sustituir de los nombres anteriores GDP por el sector correspondiente, siendo minería MIN y manufactura MAN). A continuación presentamos la más compleja de las mismas, análoga a la ecuación (18):

$$\ln(\text{GEN}_i) = c + \beta_1 \ln(\text{Sec}_i) + \beta_2 \ln(\text{Cobre}) + \beta_3 \ln(\text{Precio}_i) + \beta_4 Ar(1) + \mu_t \quad (19)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(\text{Sec}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto minero o manufacturero de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{Cobre})$ hace referencia al logaritmo natural del precio del cobre,

$\ln(\text{Precio}_i)$ hace referencia al logaritmo natural del precio de la electricidad en el sistema i ,

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

Aún más, se puede considerar que el consumo no sea explicado por un único sector sino que la interacción de los mismos condicione la evolución de la demanda de electricidad. Por lo tanto, se propuso un primer modelo análogo a la ecuación (19):

$$\ln(\text{GEN}_i) = c + \beta_1 \ln(\text{Min}_i) + \beta_2 \ln(\text{Man}_i) + \beta_3 Ar(1) + \mu_t \quad (20)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(\text{Min}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto minero de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{Man}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto manufacturero de la región asociada al sistema i ,

$\text{Ar}(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

Ahora bien, el crecimiento vegetativo es una variable a considerar en esta clase de modelos. Es sabido que a medida que aumenta el número de usuarios el consumo eléctrico aumenta, siempre que el consumo eléctrico per cápita no caiga. Por lo tanto, es importante analizar modelos que incluyan dicha dinámica. A continuación se presenta la ecuación que especifica el modelo denominado MODELO MINMANPOB:

$$\ln(\text{GEN}_i) = c + \beta_1 \ln(\text{Min}_i) + \beta_2 \ln(\text{Man}_i) + \beta_3 \ln(\text{POB}_i) + \beta_4 \text{Ar}(1) + \mu_t \quad (21)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(\text{Min}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto minero de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{Man}_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto manufacturero de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{POB}_i)$ es el logaritmo natural de la población de la región asociada al sistema i ,

$\text{Ar}(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

En último término, se propusieron 3 modelos donde la actividad económica no sea significativa para explicar el consumo de electricidad. Por lo tanto, los modelos de esta clase establecerán que el consumo depende del nivel de población –crecimiento vegetativo- y del nivel de precios que existen en la economía. A continuación se presenta la ecuación más compleja, análoga a la ecuación (18):

$$\ln(\text{GEN}_i) = c + \beta_2 \ln(\text{POB}_i) + \beta_3 \ln(\text{Cobre}) + \beta_3 \ln(\text{Precio}_i) + \beta_4 \text{Ar}(1) + \mu_t \quad (22)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(\text{POB}_i)$ es el logaritmo natural de la población de la región asociada al sistema i ,

$\ln(\text{Cobre})$ hace referencia al logaritmo natural del precio del cobre,

$\ln(\text{Precio}_i)$ hace referencia al logaritmo natural del precio de la electricidad en el sistema i ,

$\text{Ar}(1)$ es la variable explicada rezaga un período, y

μ_t representa el término de error.

Es importante aclarar que la cantidad de modelos que se puede proponer es muy amplia. Sin embargo, en el ámbito de las estimaciones econométricas es mejor la construcción de modelos parsimoniosos y simples de comprender.

Utilizando las bases de datos definidas con anterioridad, los 17 modelos por sistema interconectado fueron estimados. A partir del resultado de las estimaciones, aquellos modelos con peor bondad de ajuste fueron descartados. Para lo mismo, se evaluaron los parámetros de bondad de ajuste, desechando los que no cumplieran con alguna de las siguientes condiciones:

- Estadístico $R^2_{adjusted}$ que muestre un ajuste razonable del modelo a los datos (superior

a 0.97),

- Estadísticos Schwarz y Akaike bajos (inferiores a -4.9 para el SIC y -4.0 para el SING).
- Signo de los coeficientes estimados. Los signos deben ser coherentes con lo que la teoría y el análisis empírico determinen.

En la Tabla 19 se presentan los resultados de las estimaciones de los modelos seleccionados para el sistema eléctrico SIC, obtenidos con el programa econométrico E-Views:

TABLA 19 - REGRESIONES ANUALES SIC

Modelos	GDPPRE	MANPRE	MINPOB	MINPRECOB	MINMAN	MINMANPOB
<i>c</i>	-1.59**	-1.70*	-16.464**	-0.744*	-2.594***	-11.584
ln(<i>PBI</i>)	0.25***	-	-	-	-	-
ln(<i>POB</i>)	-	-	1.11**	-	-	0.65
ln(<i>Manuf.</i>)	-	0.26**	-	-	0.24***	0.19**
ln(<i>Mineria</i>)	-	-	0.14**	0.15**	0.16**	0.16**
ln(<i>Cobre</i>)	-	-	-	0.06**	-	-
ln(<i>Precio</i>)	-0.03**	-0.03**	-	-0.05***	-	-
<i>Ar</i> (1)	0.79***	0.82***	0.66***	0.86***	0.74***	0.63***
R2	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999
Adjusted R2	0.997	0.997	0.997	0.998	0.998	0.998
Akaike	-5.156	-5.099	-5.162	-5.383	-5.304	-5.297
Scwharz	-4.959	-4.901	-4.964	-5.136	-5.107	-5.050
Mape	0.157	0.161	0.131	0.119	0.129	0.125
Theil	0.001	0.001	0.001	0.007	0.001	0.001
Observaciones	23	23	23	23	23	23

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

En la Tabla 19 se observa que la actividad económica es siempre una variable importante al momento de estimar el consumo de electricidad. Esta situación es consistente a lo explicado en la primer parte de este trabajo, y con lo expuesto en la literatura internacional.

Una mención especial requiere el modelo MINMANPOB donde la variable población no es significativa. Esta situación responde a que todas las variables empleadas poseen tendencia, por lo que se genera multicolinealidad entre las series. Sin embargo, estimando un modelo únicamente con población se demuestra que la misma es una variable significativa para explicar el consumo de electricidad.

De todos modos, en este punto del trabajo el objetivo que se persigue es proyectar el consumo de electricidad. Por lo tanto, lo que se busca es una especificación que sea buena en términos de estadísticos de bondad de predicción. Entonces, de los modelos seleccionados con anterioridad 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, de ser necesario, aquellos modelos con baja bondad de predicción.

Una mención especial requiere los modelos que incluyen el precio de electricidad y/o cobre. Muchas veces los modelos econométricos poseen una buena bondad de predicción. Sin embargo, la incertidumbre sobre la evolución de las variables exógenas pueden aumentar los errores de proyección del modelo. Esta situación es similar a lo que sucede con el precio de la electricidad y el cobre, donde la alta volatilidad y carencia de una estructura definida los vuelve complejos e inciertos para proyectar. Por lo mismo, se decidió descartar dichos modelos al

momento de proyectar el consumo de electricidad.

En la Tabla 20 se presenta los modelos seleccionados para proyectar el consumo de electricidad del SIC junto al detalle de los indicadores de bondad de pronóstico:

TABLA 20 - MODELOS DE PROYECCIÓN ANUAL SIC

Modelos	MINPOB	MINMAN	MINMANPOB
Mape	0.131	0.129	0.125
Theil	0.001	0.001	0.001

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

El mismo procedimiento fue realizado para el SING, pero un solo modelo resulto ser explicativo.

TABLA 21 - MODELO DE PROYECCIÓN ANUAL SING

Modelos	MINPOB
<i>c</i>	-43.23***
$\ln(POB)$	3.34***
$\ln(Mineria)$	0.42***
<i>Ar(1)</i>	0.09
R2	0.998
Adjusted R2	0.997
Akaike	-4.403
Scwharz	-4.204
Mape	0.188
Theil	0.001
Observaciones	22

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

En la Tabla 21, se observa que el sector minero posee una participación relativa importante dentro de la estructura productiva de la región del SING. Esto, convierte al sector en una variable importante al momento de estimar el consumo futuro de electricidad.

Ahora bien, en la Tabla 21, además, se observa que el modelo propuesto posee una muy buena bondad de proyección. Esta situación implica un pequeño error en términos de GWh al momento de proyectar el consumo de electricidad.

Para mayor información dirigirse al ANEXO IV – MODELOS GENERACIÓN SING Y SIC.

b) Modelos Trimestrales

Análogamente a como fue realizado con los modelos anuales, se propuso un modelo trimestral por sistema eléctrico considerando un período calendario de enero a diciembre. Ahora bien, ciertos precios, como las dinámicas demográficas, no varían sustancialmente en corto períodos de tiempo. Por lo tanto, el consumo de electricidad se encuentra relacionado principalmente al nivel de actividad económica. Asimismo, podría existir un comportamiento estacional, vinculado a las cuestiones climáticas entre otras, que debe ser considerado.

El modelo propuesto se encuentra a continuación:

$$\ln(Gen_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_i) + \beta_1 Ar(1) + \beta_i @SEAS_i + \mu_t \quad (23)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta trimestral del sistema *i*,

$\ln(PBI_i)$ se refiere al logaritmo natural del producto bruto del país (SIC) o del INACER (SING),

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período,

@SEAS_i son tres variables dummy, que incorporan la estacionalidad. La primera toma valor igual a 1 para el primer trimestre y 0 para los demás; la segunda toma valor 1 para el segundo trimestre; y la última realiza lo mismo pero para el tercer trimestre, y

μ_t representa el término de error.

Es importante destacar que a los fines prácticos, el modelo es empleado para proyectar el consumo anual. De este modo, la estacionalidad no afecta a las estimaciones anuales. Sin embargo, incluir el comportamiento estacional resulta interesante para observar el comportamiento a lo largo del año.

En la Tabla 22 se presentan los resultados de las estimaciones por sistema eléctrico:

TABLA 22 - REGRESIONES TRIMESTRALES

Sistema	SIC	SING
c	-1.24***	0.15
$\ln(PBI_i)$	0.19***	0.011
@SEAS(1)	0.01	-0.05***
@SEAS(2)	0.03***	-0.0***
@SEAS(3)	0.02**	-0.02***
$Ar(1)$	0.83***	0.98***
R2	0.996	0.991
Adjusted R2	0.996	0.990
Akaike	-4.044	-4.833
Scwharz	-3.900	-4.626
Mape	0.048	0.275
Theil	0.003	0.002
Observaciones	113	61

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE Y BCC

En la Tabla 22, se puede apreciar que el nivel de actividad parecería no ser una variable explicativa del consumo de electricidad trimestral del SING. Esto responde a que la estructura productiva de la región de influencia de ese sistema eléctrico se caracteriza por ser principalmente minera, como se observó con anterioridad. La industria minera carece de una gran variabilidad a corto plazo, por lo que no se detecta un patrón a lo largo de la serie. Ante esto se excluye dicho modelo del análisis, a pesar de que las bondades de ajuste sean muy buenas, y se propone un modelo nuevo:

$$\ln(Gen_i) = c + \beta_1 Ar(1) + \beta_2 @TREND + \beta_i @SEAS_i + \mu_t \quad (24)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta trimestral del sistema i ,

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período,

@TREND es la tendencia,

@SEAS_i son tres variables dummy, que incorporan la estacionalidad. La primera toma valor igual a 1 para el primer trimestre y 0 para los demás; la segunda toma valor 1 para el segundo trimestre; y la última realiza lo mismo pero para el tercer trimestre, y

μ_t representa el término de error.

En la Tabla 23 se presentan los resultados de la estimación de la ecuación (24) para el SING:

TABLA 23 - REGRESIONES TRIMESTRALES SING

Sistema	SING
<i>c</i>	1.24**
@Trend	0.001*
@SEAS(1)	-0.05***
@SEAS(2)	-0.003
@SEAS(3)	-0.02***
Ar(1)	0.84***
R2	0.992
Adjusted R2	0.991
Akaike	-4.897
Scwharz	-4.689
Mape	0.331
Theil	0.002
Observaciones	61

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE

Del análisis de los indicadores de bondad de pronóstico de ambos modelos, se observa que las proyecciones poseen indicadores adecuados. En conclusión, los modelos trimestrales son razonables a los fines de proyectar el consumo de electricidad. En la Tabla 24 se presentan el detalle de los indicadores de bondad de proyección de cada modelo propuesto para cada sistema:

TABLA 24 - MODELOS DE PROYECCIÓN TRIMESTRAL

Sistema	SIC	SING
Mape	0.488	0.331
Theil	0.003	0.002

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

Para mayor información dirigirse al ANEXO IV – MODELOS GENERACIÓN SING Y SIC.

c) Modelos Mensuales

El consumo mensual de electricidad se encuentra sujeto a cuestiones climáticas y estacionales. Las dinámicas poblacionales, así como cambios en el nivel de precios, no tienen un gran impacto sobre el nivel de consumo. Aun mas, la elasticidad ingreso de la demanda de electricidad es inelástica en el corto plazo –como se explicó en la primera parte de este trabajo-, aunque no perfectamente inelástica.

En este contexto, se propone emplear un modelo ARIMA para el SIC, que incluyan los factores estacionales a través de variables *dummy*, y un indicador de actividad mensual. El modelo propuesto se muestra a continuación:

$$\ln(\text{Gen}_i) = c + \beta_1 \ln(\text{PBI}_i) + \beta_2 \text{Ar}(1) + \beta_i @\text{SEAS}_i + \mu_t \quad (25)$$

Donde,

ln(Gen_i) hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta mensual del sistema *i*,

ln(PBI_i) se refiere al logaritmo natural del indicador mensual de actividad económica,

Ar(1) es la variable explicada rezaga un período,

@SEAS_i son once variables *dummy*, que incorporan la estacionalidad mensual, y toman el valor 1 si la observación corresponde al mes 1,2,...,11, y 0 en el mes 12, y

μ_t representa el término de error.

En el modelo trimestral se demostró que la actividad minera carece de estacionalidad. Por lo tanto, el nivel de producto no representa una variable significativa para explicar el consumo futuro de electricidad del SING. Sin embargo, la estacionalidad, producto del consumo de la población, debe considerarse. Por lo tanto, para el SING se propone el siguiente modelo:

$$\ln(\text{Gen}_i) = c + \beta_1 @TREND + \beta_2 Ar(1) + \beta_i @SEAS_i + \mu_t \quad (26)$$

Donde,

$\ln(\text{Gen}_i)$ hace referencia al logaritmo natural de la generación bruta mensual del sistema i ,

@TREND es la tendencia,

$Ar(1)$ es la variable explicada rezaga un período,

@SEAS $_i$ son once variables dummy, que incorporan la estacionalidad mensual, y toman el valor 1 si la observación corresponde al mes 1,2,...,11, y 0 en el mes 12, y

μ_t representa el término de error.

En la Tabla 25 se presentan los resultados de la estimación de la ecuación (25) y (26):

TABLA 25 - MODELOS DE PROYECCIÓN MENSUAL

Sistema	SIC	SING
c	0.19***	0.15**
@Trend	-	0.001***
$\ln(PBI_i)$	0.11***	-
$Ar(1)$	0.90***	0.80***
@SEAS(1)	-0.04***	-0.07***
@SEAS(2)	-0.11***	-0.12***
@SEAS(3)	0.06***	0.03***
@SEAS(4)	-0.08***	-0.07***
@SEAS(5)	-0.003	-0.01
@SEAS(6)	-0.05***	-0.07***
@SEAS(7)	-0.001	-0.04***
@SEAS(8)	-0.05***	-0.03***
@SEAS(9)	-0.11***	-0.07***
@SEAS(10)	0.002	-0.01
@SEAS(11)	-0.06***	-0.07***
R2	0.997	0.987
Adjusted R2	0.997	0.986
Akaike	-4.712	-4.492
Scwharz	-4.546	-4.249
Mape	0.639	0.455
Theil	0.004	0.003
Observaciones	318	186

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

En la Tabla 25 se puede apreciar que el consumo de electricidad del SIC mantiene una relación a paso mensual con el nivel de actividad, pero lo elasticidad ingreso es casi muy baja (demanda

inelástica). Como observamos en el modelo trimestral, el SING no tiene una relación con el nivel de actividad a corto plazo dada la importancia de la minería en su estructura productiva.

Para mayor información dirigirse al ANEXO IV – MODELOS GENERACIÓN SING Y SIC.

3.3.3. Escenarios considerados

Una vez seleccionado los modelos, es necesaria la construcción de escenarios de proyección. Esto implica elegir la evolución futura de las variables de proyección a los fines de calcular, con los modelos elegidos, los niveles futuros de consumo. El alcance de las proyecciones econométricas depende de la cantidad de observaciones histórica, donde nunca se puede proyectar una cantidad de años superior a lo histórico. Asimismo, cuanto más nos acercamos a ese límite que nos impone la econometría, el intervalo de confianza se vuelve mayor. Por lo tanto, se decidió proyectar hasta el 2028 por medios estadísticos.

Las series de población se encontraron disponibles hasta el año 2020, dado que las mismas fueron obtenidas de la sección “Proyecciones y Estimaciones de Población” del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.

Los datos poblacionales son recopilados y proyectados por el Instituto Nacional de Estadísticas con apoyo de la CEPAL. Este instituto ha proyectado el nivel poblacional por región de Chile. La confiabilidad en esta institución valida la información, la cual ha sido utilizada en la construcción del escenario futuro de población de Chile por región.

En la Tabla 26 se presentan las de proyecciones estimadas por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile:

TABLA 26 - TASAS DE PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO

Año	SING	SIC
2014	1.05%	0.89%
2015	1.04%	0.89%
2016	0.91%	0.78%
2017	0.90%	0.77%
2018	0.89%	0.77%
2019	0.88%	0.76%
2020	0.87%	0.76%
Tasas anuales acumulativas		
Histórico	1.26%	1.02%
Proy. 14-20	0.93%	0.80%

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL INE

Del análisis de la Tabla 26, se observa una marcada desaceleración en el crecimiento poblacional. En particular, el SING mantiene un crecimiento promedio superior al SIC, aunque la caída en la tasa promedio respecto al promedio de los años 2000 a 2013 es más marcada que en el otro sistema.

Ahora bien, se supone que el crecimiento poblacional del país hasta 2028 se corresponde a la tasa de variación proyectada por la UN. La evolución temporal de la población regional depende de la proyección de la participación de cada región sobre el total del país. Para lo mismo, fue analizada la evolución histórica de las participaciones, y luego de calculado un valor potencial, se hizo converger la misma a dicho valor, alcanzándolo recién en 2028. En la Tabla 27 se presenta el valor proyectado de la población total, las regiones del SIC y SING, las tasas de participación y las variaciones anuales:

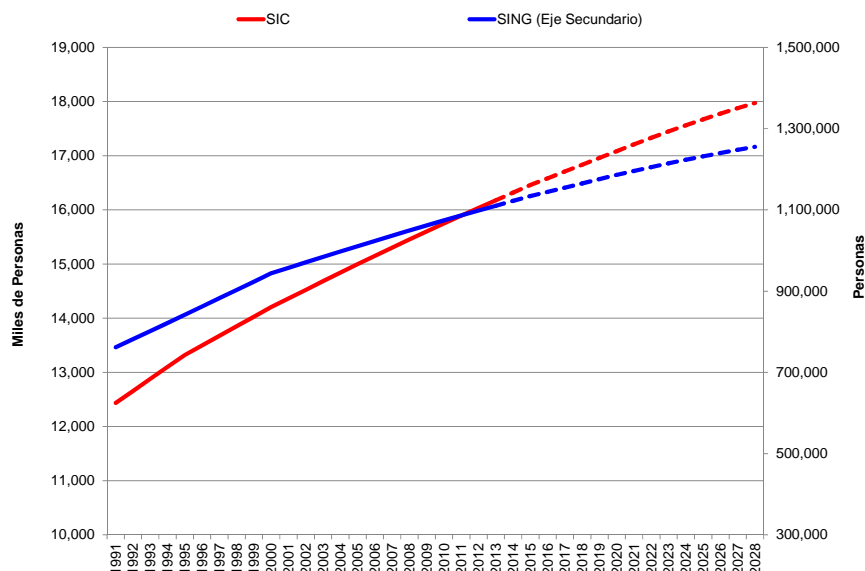
TABLA 27 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028

Año	Total País (personas)	SIC (personas)	SING (personas)	Participaciones		% Anual	
				SIC	SING	SIC	SING
2020	18,549,095	17,085,583	1,186,190	92.11%	6.39%	0.7%	0.9%
2021	18,684,900	17,210,438	1,195,922	92.11%	6.40%	0.7%	0.8%
2022	18,816,955	17,331,836	1,205,384	92.11%	6.41%	0.7%	0.8%
2023	18,944,950	17,449,490	1,214,553	92.11%	6.41%	0.7%	0.8%
2024	19,068,556	17,563,099	1,223,405	92.11%	6.42%	0.7%	0.7%
2025	19,187,517	17,672,427	1,231,920	92.10%	6.42%	0.6%	0.7%
2026	19,301,677	17,777,330	1,240,089	92.10%	6.42%	0.6%	0.7%
2027	19,410,985	17,877,761	1,247,906	92.10%	6.43%	0.6%	0.6%
2028	19,515,438	17,973,718	1,255,371	92.10%	6.43%	0.5%	0.6%

FUENTE: ELABORADO PROPIA EN BASE A LA UN

A continuación, se presenta la Gráfica 8 con el escenario de crecimiento poblacional para cada sistema eléctrico:

GRÁFICO 8 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO



FUENTE: ELABORADO EN BASE AL INE

El “World Economic Outlook Databases” del IMF contiene una selección de series de datos macroeconómicos que constituyen el anexo estadístico del Informe “World Economic Outlook”, el cual presenta el análisis y las proyecciones del *staff* del IMF a cerca del desarrollo económico a nivel mundial. La información se encuentra presentada por grupos de países, o por país de manera individual, lo cual facilita la búsqueda de datos.

La confiabilidad y seriedad de esta institución es reconocida a nivel internacional. Por lo tanto, las proyecciones del organismo han sido consideradas para la construcción de un escenario de proyección del consumo eléctrico de Chile.

En la Tabla 28 se presentan las tasas de variación proyectadas por el organismo:

TABLA 28 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	'10-13	'14-19
PBI	2.00%	3.34%	4.00%	4.25%	4.25%	4.25%	2.17%	3.68%

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL IMF

Del análisis de la Tabla 28, se observa una aceleración en el crecimiento de la actividad económica del país. Esta situación responde a que el promedio del período 2010 - 2013 se ve afectada por la crisis económica internacional.

Se supone que el PBI regional mantiene la misma evolución que el PBI. Asimismo, se supone que las actividades sectoriales, que se encuentran muy vinculadas a la evolución del producto regional, mantiene la misma evolución que el PBR.

La evolución temporal de las variables se caracteriza por converger a la tasa de crecimiento de largo plazo. Esta tasa es constante luego de alcanzado un período de tiempo. En particular, se supone que la tasa de largo plazo corresponde al promedio de la proyección realizada por el IMF (3.68%). En este contexto, y dada la dificultad e imposibilidad de construir una serie de crecimiento de largo plazo, se proyectó el crecimiento del producto a partir de la convergencia lineal a la tasa de crecimiento de largo plazo desde 2020, y la alcanza recién en 2028. En la Tabla 29 se presentan las tasas de variación proyectadas desde 2020:

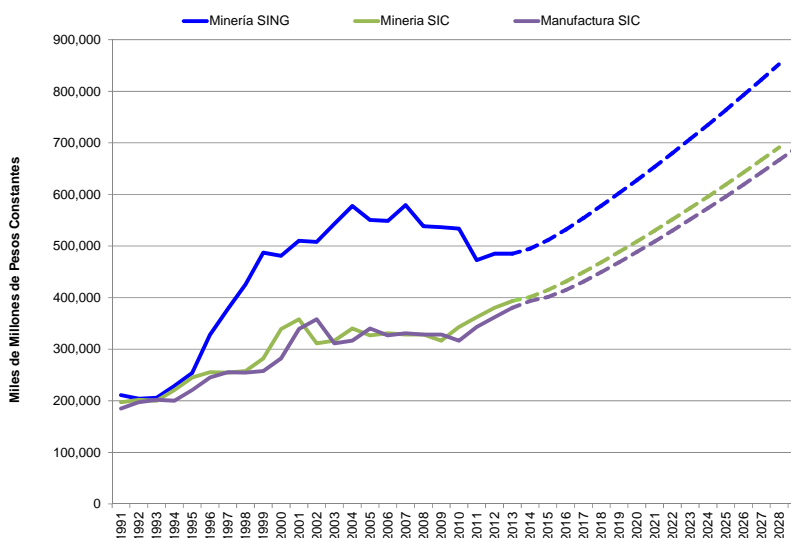
TABLA 29 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
PBI	4.19%	4.12%	4.06%	4.00%	3.93%	3.87%	3.81%	3.74%	3.68%

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL IMF

Es importante destacar, que los valores proyectados son consistentes con lo esperado por organismos regionales como la CEPAL. En la Gráfica 9 se presenta el escenario de crecimiento económico para cada sistema eléctrico:

GRÁFICO 9 - PROYECCIÓN ACTIVIDAD ECONÓMICA POR SISTEMA ELÉCTRICO



FUENTE: ELABORADO EN BASE AL IMF

En la Tabla 30, se presenta el escenario de crecimiento económico para cada sistema eléctrico, definiendo la proyección anual con sus tasas porcentuales de crecimiento:

TABLA 30 - PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028

Año	Producto Bruto (millones de pesos constantes)		Variación Anual	
	SIC	SING	SIC	SING
2014	10,055,596	1,135,971	2.0%	2.0%
2015	10,391,252	1,173,889	3.3%	3.3%
2016	10,806,902	1,220,845	4.0%	4.0%
2017	11,266,195	1,272,731	4.3%	4.3%
2018	11,745,008	1,326,822	4.3%	4.3%
2019	12,244,171	1,383,212	4.3%	4.3%
2020	12,756,805	1,441,124	4.2%	4.2%
2021	13,282,834	1,500,549	4.1%	4.1%
2022	13,822,154	1,561,475	4.1%	4.1%
2023	14,374,631	1,623,888	4.0%	4.0%
2024	14,940,100	1,687,768	3.9%	3.9%
2025	15,518,365	1,753,094	3.9%	3.9%
2026	16,109,198	1,819,840	3.8%	3.8%
2027	16,712,338	1,887,976	3.7%	3.7%
2028	17,327,491	1,957,470	3.7%	3.7%

FUENTE: ELABORADO PROPIA EN BASE A LA UN

3.3.4. Resultados

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.

Ahora bien, la utilización de distintos modelos, con distintas periodicidades, permitió la construcción de tres escenarios por sistema eléctrico. A saber, para el Sistema Interconectado Central:

- Escenario Alto: Modelo Anual MINMAN
- Escenario Medio: Promedio Modelo Anual MINMANPOB y Modelo Mensual
- Escenario Bajo: Promedio Modelo Anual MINPOB y Modelo Trimestral

Ahora bien, para el Sistema Interconectado Gran Norte, los escenarios corresponden a:

- Escenario Alto: Modelo Anual
- Escenario Medio: Promedio Escenario Alto y Bajo
- Escenario Bajo: Promedio Modelo Mensual y Trimestral

La utilización de valores promedio corresponde a un criterio de construcción del valor esperado. Además, esta metodología permite la construcción de escenarios más conservadores y es de amplia utilización en la literatura internacional ya que permite construir un valor esperado de varias distribuciones de probabilidad. En la Tabla 31 se presentan los resultados por sistema eléctrico y para cada escenario construido:

TABLA 31 - PROYECCIÓN CONSUMO ELÉCTRICO 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
Tasas anuales acumulativas						
<i>Histórico</i>	5.9%	5.9%	5.9%	4.8%	4.8%	4.8%
<i>Proy. 2014-2028</i>	5.8%	4.7%	4.2%	4.9%	4.7%	4.6%

FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

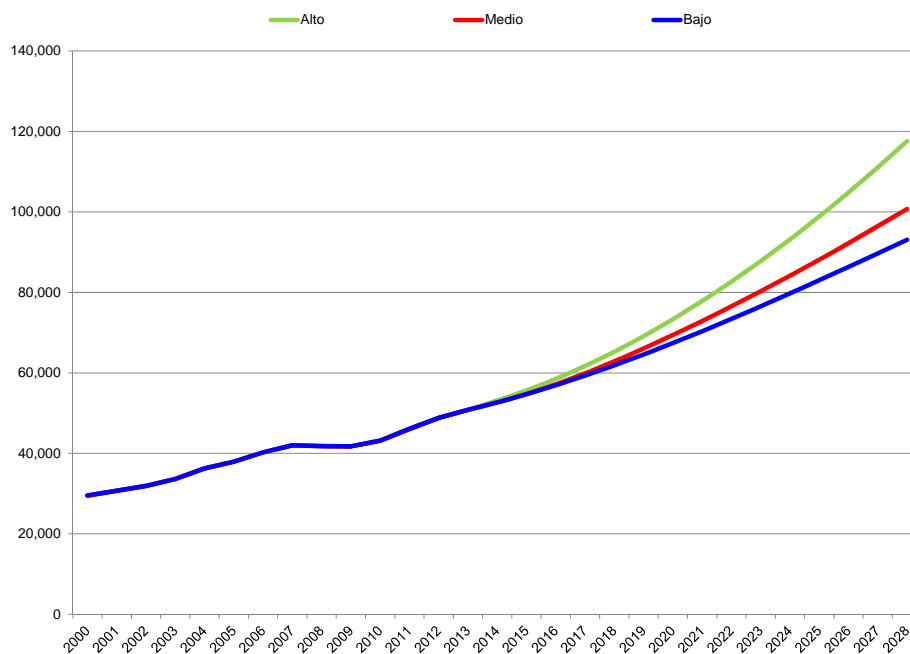
Es importante mencionar, que la utilización de distintos modelos con poco error de proyección implica que las desviaciones en términos de GWh respecto a los futuros valores observados son muy bajas. Por lo tanto, el promedio, asimismo, corresponderá a la recta de mejor ajuste con poco error de pronóstico.

En la Tabla 31 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, y presentar un menor crecimiento tendencial. La situación es distinta en el escenario bajo donde no se incluye la variable de actividad económica en la proyección del consumo del SING.

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

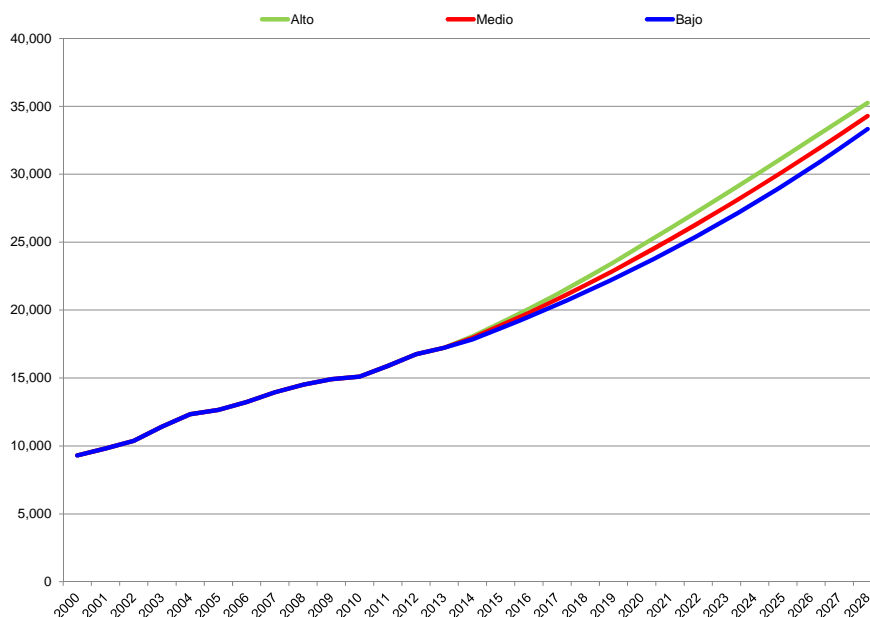
GRÁFICO 10 - EVOLUCIÓN CONSUMO SIC (GWH), 2000-2028



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

En la Gráfica 11 se presenta la evolución temporal del consumo de electricidad en GWh del SING, por escenario, para el período 2000 a 2028:

GRÁFICO 11 - EVOLUCIÓN CONSUMO SING (GWH), 2000-2028



FUENTE: ELABORADO EN BASE A CNE, BCC E INE

3.4. SISTEMAS MEDIANOS

3.4.1. Información utilizada

Con el objetivo de proyectar el consumo eléctrico para los nueve sistemas medianos ya mencionados, 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 Carrera: 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 (número índice año base 1997=100)**
 - 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.

Las series utilizadas como variables explicativas para el INACER se corresponden con series empalmadas, dado que en el sitio web del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile se encontraban series de diferente año base, las cuales por si solas no contaban con la extensión suficiente para luego poder proyectar las variables explicadas. Las series utilizadas emplean como año base los años 1997 y 2003, las cuales se empalmaron teniendo en cuenta la tasa de variación interanual de la serie con año base 2003. Finalmente, dado que todas las variables se encuentran disponibles a paso anual, se tomó como valor anual el promedio aritmético de los 4 trimestres.

Es importante mencionar que las series de población regional y comunal se encontraron disponibles hasta el año 2020, dado que las mismas fueron obtenidas de la sección “Proyecciones y Estimaciones de Población” del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.

3.4.2. Metodología utilizada

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).

A continuación se presentan las diferentes especificaciones estimadas:

Los modelos anuales estimados fueron los siguientes:

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_R) + \beta_2 \ln(POB_R) + \mu_t \quad (27)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(PBI_R)$ representa el logaritmo natural del PBI de la región R ,

$\ln(POB_R)$ representa el logaritmo natural de la población de la región R , y

μ_t representa el término de error.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(INACER_R) + \beta_2 \ln(COMUNA_i) + \mu_t \quad (28)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(INACER_R)$ representa el logaritmo natural del INACER de la región R ,

$\ln(COMUNA_i)$ representa el logaritmo natural del agregado de las comunas que pertenecen al sistema i , y

μ_t representa el término de error.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 @trend + \mu_t \quad (29)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

@trend representa la tendencia de la serie, y

μ_t representa el término de error.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_R) + \beta_2 \ln(POB_R) + \beta_3 Ar(1) + \mu_t \quad (30)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(PBI_R)$ representa el logaritmo natural del PBI de la región R ,

$\ln(POB_R)$ representa el logaritmo natural de la población de la región R , y

$Ar(1)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i en el instante $t - 1$, y

μ_t representa el término de error.

Esta especificación anual es idéntica a la ecuación (27), con la excepción de que incluye adicionalmente la variable explicada rezagada un período como variable explicativa.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(INACER_R) + \beta_2 \ln(COMUNA_i) + \beta_3 Ar(1) + \mu_t \quad (31)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(INACER_R)$ representa el logaritmo natural del INACER de la región R ,

$\ln(COMUNA_i)$ representa el logaritmo natural del agregado de las comunas que pertenecen al sistema i ,

$Ar(1)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i en el instante $t - 1$, y μ_t representa el término de error.

Esta especificación anual es idéntica a la ecuación (28), con la excepción de que incluye adicionalmente la variable explicada rezagada un período como variable explicativa.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(PBI_R) + \beta_2 Ar(1) + \mu_t \quad (32)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(PBI_R)$ representa el logaritmo natural del PBI de la región R ,

$Ar(1)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i en el instante $t - 1$, y

μ_t representa el término de error.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(INACER_R) + \beta_2 Ar(1) + \mu_t \quad (33)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(INACER_R)$ representa el logaritmo natural del INACER de la región R ,

$Ar(1)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i en el instante $t - 1$, y

μ_t representa el término de error.

$$\ln(GEN_i) = c + \beta_1 \ln(COMUNA_i) + \mu_t \quad (34)$$

Donde,

$\ln(Gen_i)$ representa el logaritmo natural de la generación bruta del sistema i ,

$\ln(COMUNA_i)$ representa el logaritmo natural del agregado de las comunas que pertenecen al sistema i , y

μ_t representa el término de error.

La elección del mejor modelo para cada uno de los sistemas se basó en la evaluación de los parámetros de bondad de pronóstico, desechando anteriormente aquellos modelos que no cumplieran con alguna de las siguientes condiciones:

- Estadístico $R^2_{adjusted}$ que muestre un ajuste razonable del modelo a los datos,
- Estadístico *Durbin – Watson* (en aquellos modelos donde no se utilicen términos autorregresivos) que refleje la ausencia de autocorrelación (en lo posible, dado que la regla de decisión muchas veces no puede especificarlo).
- Cointegración de las variables involucradas en el modelo (variables integradas del mismo orden que poseen una relación de largo plazo, lo que equivale a evaluar la estacionariedad de los residuos).
- Estadísticos Schwarz y Akaike bajos.

Es importante recordar que el objetivo que se persigue es la estimación de modelos de consumo eléctrico con el fin de proyectar esta variable a futuro. Por lo tanto, es substancial contar con una especificación del modelo que sea buena en términos de estadísticos de bondad de predicción.

A continuación se presentan los modelos de proyección elegidos para cada uno de los sistemas

(las salidas del programa estadístico E-Views pueden apreciarse en el ANEXO V – MODELOS DE GENERACIÓN SISTEMAS MEDIANOS):

- **Sistema Punta Arenas**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 7 (Especificación 33).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 2.835053
 - THEIL: 0.016744

- **Sistema Puerto Natales**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 3 (Especificación 29).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 1.290464
 - THEIL: 0.008554

- **Sistema Porvenir**

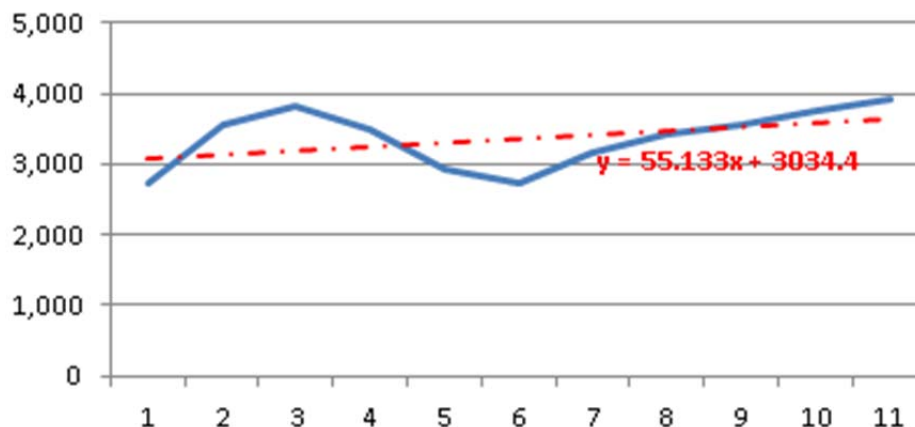
- Modelo Elegido: Modelo Anual 5 (Especificación 31).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 4.096700
 - THEIL: 0.029166

- **Sistema Puerto Williams**

- Modelo Elegido: Modelo Tendencial (sin estimación econométrica).
- Aclaración: Dado que ninguno de los modelos estimados presentaba un ajuste razonable a los datos, se optó por estimar un modelo anual tendencial por fuera del programa estadístico E-Views. Para poder armar el modelo anteriormente mencionado, se utilizó el programa Excel, donde se obtuvo la tendencia lineal (en este caso) que mejor se adaptó a los datos históricos. Utilizando las tasas de crecimiento desprendidas de los valores calculados empleando la fórmula de la recta, se proyectó el consumo eléctrico de Puerto Williams hasta el año 2028.

La Gráfica 12 exhibe la tendencia calculada por Excel en base a los datos históricos del Sistema Puerto Williams:

GRÁFICO 12 - TENDENCIA ESTIMADA PARA PUERTO WILLIAMS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS ENVIADOS POR CNE

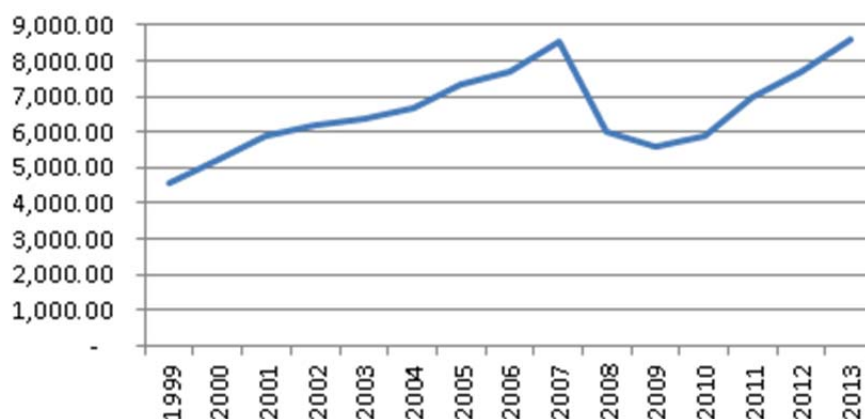
- **Sistema Aysén**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 8 (Especificación 34).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 4.777903
 - THEIL: 0.030025

- **Sistema Palena**

- Modelo Elegido: Promedio Aritmético entre Modelos Anuales 3 y 6 (Especificaciones 29 y 32).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 3.4240945
 - THEIL: 0.0206885
- Aclaración: es importante mencionar que la serie histórica de consumo eléctrico correspondiente al Sistema Palena presenta un cambio estructural en el año 2008 (erupción del Volcán Chaitén). A continuación se presenta el Gráfico 13, donde esta situación puede verse reflejada:

GRÁFICO 13 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA PALENA [2008]



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS ENVIADOS POR CNE

La relación entre la variable dependiente y los regresores cambia a lo largo del período muestral (1999 - 2013), por lo que no es posible especificar una única función de demanda para todo el período. Es necesario especificar funciones diferentes según el período muestral considerado, lo que puede realizarse mediante la inclusión de variables *dummy* a los modelos presentados con anterioridad. Las variables *dummy* son variables cualitativas, también conocidas como indicativas, binarias, categóricas y dicotómicas. Sólo pueden asumir los valores 0 y 1, indicando respectivamente ausencia o presencia de una cualidad o atributo.

Teniendo en cuenta lo observado en el Gráfico 13, introducimos una variable *dummy* que vale 1 para el período 2008 - 2013 y 0 para el período 1999 - 2007.

Tal como puede verse en el archivo E-Views de respaldo, se testeó la existencia de cambio estructural tanto de nivel como de pendiente. Los resultados de los modelos estimados sugieren que, a los valores usuales de probabilidad, únicamente existe un cambio de nivel en la serie de generación.

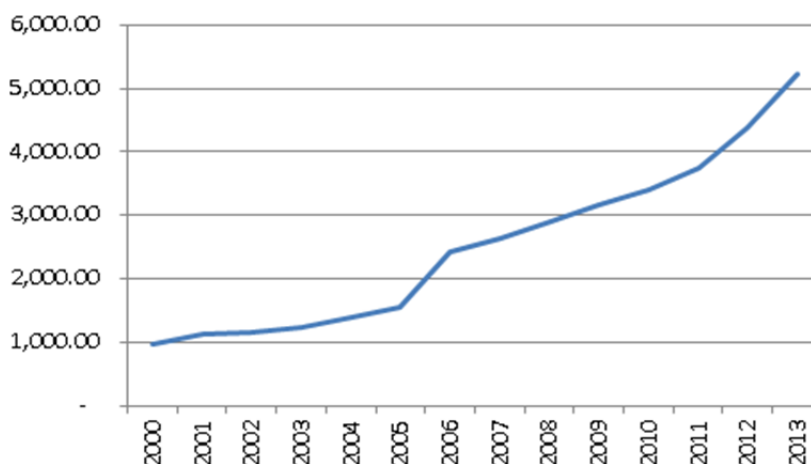
- **Sistema General Carrera**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 5 (Especificación 31).
- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 2.639684
 - THEIL: 0.014762

- **Sistema Cochamó**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 3 (Especificación 29).
- Aclaración: La serie presenta un quiebre estructural en 2005, el cual no ha podido ser explicado. A continuación se presenta el Gráfico 14, donde esta situación puede verse reflejada:

GRÁFICO 14 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA COCHAMÓ [2005]



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS ENVIADOS POR CNE

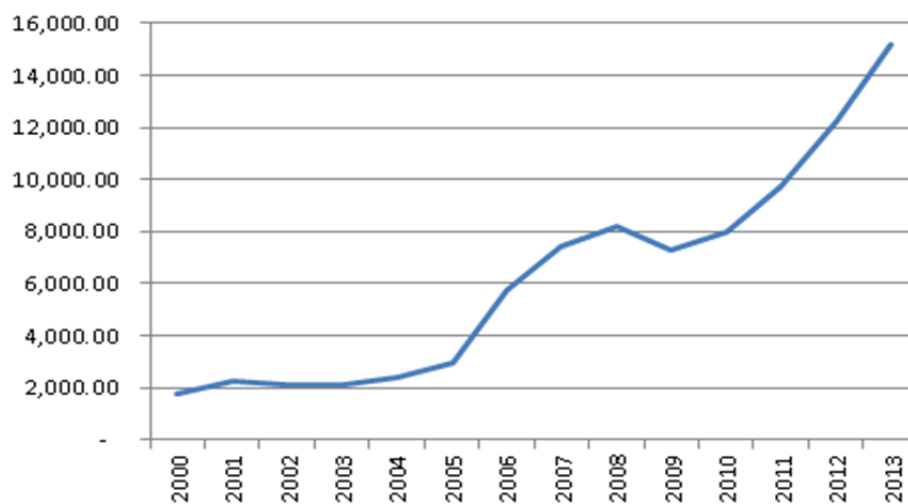
Por lo tanto, se incorpora una variable *dummy* que toma valores 1 a partir del año 2006 a los fines de capturar dicho efecto.

- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 6.142562
 - THEIL: 0.028299

- **Sistema Hornopirén**

- Modelo Elegido: Modelo Anual 7 (Especificación 33).
- Aclaración: La serie presenta un quiebre estructural en 2005, el cual no ha podido ser explicado. A continuación se presenta el Gráfico 15, donde esta situación puede verse reflejada:

GRÁFICO 15 - CAMBIO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA HORNOPIRÉN [2005]



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS ENVIADOS POR CNE

Por lo tanto, se incorpora una variable *dummy* que toma valores 1 a partir del año

2006 a los fines de capturar dicho efecto.

- Estadísticos de Bondad de Pronóstico
 - MAPE: 4.267716
 - THEIL: 0.026433

A continuación, y a modo de resumen, se presentan las Tablas 32, 33 y 34, que agrupan a los sistemas y sus parámetros estimados según los modelos elegidos:

TABLA 32 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 5

Sistema Variables	Porvenir	General Carrera
α	-398.87***	-32.27**
$\ln(\text{COMUNA}_t^S)$	47.31***	4.06**
$\ln(\text{INACER}_t^R)$	0.39	0.03
$\ln(\text{Gen}_{t-1}^S)$	-0.20	0.52**
R2	0.954	0.988
Adjusted R2	0.926	0.985
Observaciones	9	14

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 33 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 3

Sistema Variables	Puerto Natales	Palena	Cochamó
α	9.43***	8.47***	6.85***
@trend	0.06***	0.07***	0.10***
Dummy_2008	-	-0.50***	-
Dummy > 2005	-	-	0.31***
R2	0.996	0.921	0.983
Adjusted R2	0.996	0.908	0.980
Observaciones	15	15	14

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

TABLA 34 - RESUMEN DE SALIDA DE REGRESIÓN PARA EL MODELO ANUAL 6, 7 Y 8

Sistema Variables	Palena	Punta Arenas	Aysén	Hornopirén
α	-5.80***	0.26	-34.53***	-0.8
$\ln(\text{PBI}_t^R)$	1.11***	-	-	-
$\ln(\text{Gen}_{t-1}^S)$	0.11	0.96***	-	0.64***
Dummy_2008	-0.37***	-	-	-
Dummy > 2005	-	-	-	0.35**
$\ln(\text{INACER}_t^R)$	-	0.05	-	0.75
$\ln(\text{COMUNA}_t^S)$	-	-	4.071***	-
R2	0.943	0.992	0.930	0.983
Adjusted R2	0.926	0.990	0.924	0.979
Observaciones	14	15	15	13

NIVELES DE SIGNIFICATIVIDAD: *** 1% DE CONFIANZA; ** 5% DE CONFIANZA; * 10% DE CONFIANZA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Como puede observarse en las Tablas 33 y 34, fueron seleccionados dos modelos para el Sistema Mediano Palena. El motivo reside en que ambos modelos presentaban buenas características y, a su vez, por medio del promedio aritmético de los valores proyectados con cada uno se podría construir un valor esperado que resulte del promedio entre dos distribuciones de probabilidad, construyendo un escenario más probable y conservador.

Finalmente, y como ya se ha explicado, para el caso del Sistema Puerto Williams no se han utilizado un método econométrico calculados por el programa estadístico E-Views. Por esta razón es que este sistema no se encuentra encuadrado dentro de ninguna de las Tablas 32, 33 y 34.

3.4.3. Escenarios considerados

Los escenarios considerados de proyección de las variables explicativas fueron los mismos para todas las especificaciones, dado que el objetivo principal de esta parte del estudio era elegir aquellos modelos que mejor proyecten la variable explicada; y que las diferencias existentes no se encuentren fundamentadas por diferencias en las proyecciones de las variables explicativas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, las series de población regional y comunal se encontraban disponibles hasta el año 2020, dado que las mismas fueron obtenidas de la sección “Proyecciones y Estimaciones de Población” del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile.

Los datos poblacionales regionales son recopilados y proyectados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) con apoyo de la CEPAL. Este instituto ha proyectado el nivel poblacional por región de Chile. La confiabilidad en esta institución valida la información, la cual ha sido utilizada en la construcción del escenario futuro de población de Chile por región.

En la Tabla 35 se presentan las proyecciones estimadas por el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile:

TABLA 35 - TASAS DE PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO

Año	Región X	Región XI	Región XII
2014	1.20%	0.95%	0.32%
2015	1.18%	0.95%	0.31%
2016	1.10%	0.77%	0.24%
2017	1.10%	0.78%	0.23%
2018	1.08%	0.77%	0.24%
2019	1.07%	0.76%	0.23%
2020	1.06%	0.76%	0.23%
Tasas Acumulativas			
Histórico	1.31%	1.09%	0.34%
Proy. 14-20	1.10%	0.80%	0.25%

PUNTA ARENAS, PUERTO NATALES, PORVENIR Y PUERTO WILLIAMS PERTENECEN A LA REGIÓN XII

PALENA, G. CARRERA Y AYSÉN PERTENECEN A LA REGIÓN XI

COCHAMÓ Y HORNOPIRÉN PERTENECEN A LA REGIÓN X

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL INE

Del análisis de la Tabla 35, se observa una marcada desaceleración en el crecimiento poblacional. Se supone que el crecimiento poblacional del país hasta 2028 se corresponde con las tasas de variación proyectadas por la UN. A su vez, la evolución temporal de la población

regional depende de la proyección de la participación de cada región sobre el total del país. Para lo mismo, fue analizada la evolución histórica de las participaciones, y luego de calculado un valor potencial, se hizo converger la misma a dicho valor, alcanzándolo recién en 2028. En la Tabla 36 se presenta el valor proyectado de la población total, las regiones de los Sistemas Medianos, y las tasas de participación:

TABLA 36 - PROYECCIÓN POBLACIÓN POR SISTEMA ELÉCTRICO 2020-2028

Año	Total País (personas)	Región X (personas)	Región XI (personas)	Región XII (personas)	Participaciones [%]		
					Región X	Región XI	Región XII
2020	18,549,095	937,216	114,252	163,070	5.05%	0.62%	0.88%
2021	18,684,900	946,586	115,090	163,450	5.07%	0.62%	0.87%
2022	18,816,955	955,801	115,905	163,831	5.08%	0.62%	0.87%
2023	18,944,950	964,845	116,694	164,212	5.09%	0.62%	0.87%
2024	19,068,556	973,700	117,457	164,595	5.11%	0.62%	0.86%
2025	19,187,517	982,350	118,191	164,978	5.12%	0.62%	0.86%
2026	19,301,677	990,785	118,896	165,363	5.13%	0.62%	0.86%
2027	19,410,985	999,001	119,570	165,748	5.15%	0.62%	0.85%
2028	19,515,438	1,006,997	120,215	166,134	5.16%	0.62%	0.85%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA UN.

Como se ha especificado con anterioridad, las series de población comunal se encontraban disponibles hasta el año 2020. Con el objetivo de proyectar esta variable hasta el año 2028, se siguió el siguiente razonamiento:

- **Paso 1:** Se calcularon las tasas anuales de crecimiento históricas de cada una de la(s) comuna(s) para cada Sistema.
- **Paso 2:** Dado que se busca proyectar la variable hasta el año 2028 (8 años) se calculó la tasa promedio de crecimiento histórica para el período de 8 años inmediatamente anterior: 2013-2020. A esta tasa se la llamó tasa de crecimiento de largo plazo.
- **Paso 3:** Teniendo en cuenta la tasa de crecimiento de largo plazo, se establece que las series la alcanzan en el año 2028. Luego, resta estimar las tasas de crecimiento para el período 2021-2027.
- **Paso 4:** Con el objetivo de calcular las tasas restantes, se realizó una interpolación lineal de tasas, logrando así calcular tasas proyectadas para todo el horizonte de pronóstico.
- **Paso 5:** Una vez que se tuvieron las tasas proyectadas, se calcularon los valores anuales de las series comunales.

A continuación se muestran las series de población comunal proyectadas:

TABLA 37 - PROYECCIÓN E HISTORIA DE POBLACIÓN COMUNAL

Año	POBLACIÓN TOTAL - COMUNAS						
	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Hornop.	Cochamó	Aysén	Carrera
2013	125,712	21,484	5,671	8,363	4,261	89,403	8,148
2014	125,971	21,632	5,680	8,350	4,254	90,300	8,204
2015	126,223	21,778	5,695	8,330	4,235	91,245	8,242
2016	126,363	21,911	5,711	8,296	4,203	92,029	8,271
2017	126,485	22,050	5,721	8,256	4,186	92,818	8,315
2018	126,629	22,181	5,728	8,227	4,160	93,602	8,343
2019	126,724	22,320	5,740	8,195	4,131	94,377	8,381

POBLACIÓN TOTAL - COMUNAS							
Año	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Hornop.	Cochamó	Aysén	Carrera
2020	126,871	22,451	5,744	8,165	4,119	95,157	8,416
2021	127,022	22,584	5,749	8,135	4,106	95,954	8,452
2022	127,176	22,720	5,755	8,106	4,092	96,767	8,489
2023	127,334	22,858	5,762	8,078	4,077	97,598	8,527
2024	127,495	22,999	5,770	8,050	4,061	98,447	8,565
2025	127,660	23,142	5,779	8,022	4,044	99,314	8,605
2026	127,829	23,288	5,789	7,995	4,026	100,199	8,646
2027	128,001	23,436	5,800	7,968	4,007	101,102	8,687
2028	128,178	23,587	5,812	7,942	3,988	102,025	8,730

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA INFORMACIÓN DEL INE.

El “*World Economic Outlook Databases*” del IMF contiene una selección de series de datos macroeconómicos que constituyen el anexo estadístico del Informe “*World Economic Outlook*”, el cual presenta el análisis y las proyecciones del *staff* del IMF a cerca del desarrollo económico a nivel mundial. La confiabilidad y seriedad de esta institución es reconocida a nivel internacional, lo que hace que las proyecciones del organismo hayan sido consideradas para la construcción de un escenario de proyección del consumo eléctrico en Chile.

En la Tabla 38 se presentan las tasas de variación proyectadas por el organismo:

TABLA 38 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	10-13	14-19
PBI	2.00%	3.34%	4.00%	4.25%	4.25%	4.25%	2.17%	3.68%

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL IMF.

La evolución temporal de las variables se caracteriza por converger a la tasa de crecimiento de largo plazo. Esta tasa es constante luego de alcanzado un período de tiempo. En particular, en este caso se supone que la tasa de largo plazo se corresponde con el promedio de la proyección realizada por el IMF (3.68%). Es este contexto, y dada la dificultad e imposibilidad de construir una serie de crecimiento de largo plazo, se proyectó el crecimiento del producto a partir de la convergencia lineal a la tasa de crecimiento de largo plazo desde 2020, y la alcanza recién en 2028. En la Tabla 39 se presentan las tasas de variación proyectadas desde 2020:

TABLA 39 - TASAS DE PROYECCIÓN PRODUCTO BRUTO NACIONAL

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
PBI	4.19%	4.12%	4.06%	4.00%	3.93%	3.87%	3.81%	3.74%	3.68%

FUENTE: ELABORADO EN BASE AL IMF

Tal como ya fue mencionado, se supone que el PBI regional mantiene la misma evolución que el producto bruto nacional. Por lo tanto, aplicando dichas tasas de crecimiento economía a la evolución del producto por región podemos construir el escenario futuro del crecimiento del producto. A continuación se expone la Tabla 40, donde se presenta la evolución y proyección del Producto Bruto Regional basada en la metodología descrita con anterioridad:

TABLA 40 - EVOLUCIÓN DEL PBI REGIONAL: REGIONES X, XI Y XII

Año	PBI		
	X Los Lagos	XI Aisén	XII Magallanes
2013	479,959	357,113	500,039
2014	489,544	364,245	510,024
2015	505,885	376,403	527,049

Año	PBI		
	X Los Lagos	XI Aisén	XII Magallanes
2016	526,121	391,460	548,131
2017	548,481	408,097	571,426
2018	571,791	425,441	595,712
2019	596,092	443,522	621,030
2020	621,049	462,091	647,031
2021	646,658	481,146	673,711
2022	672,914	500,681	701,066
2023	699,811	520,694	729,088
2024	727,340	541,177	757,769
2025	755,492	562,123	787,098
2026	784,256	583,525	817,066
2027	813,619	605,373	847,657
2028	843,567	627,656	878,858

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INE Y AL IMF.

Finalmente, con el objetivo de proyectar la variable INACER para cada una de las regiones consideradas, se optó por emplear las mismas tasas de crecimiento proyectadas que para el producto chileno, las cuales se encuentran descritas en la Tabla 41.

TABLA 41 - PROYECCIÓN E HISTORIA DEL INACER, POR REGIÓN

Año	Los Lagos	Región Aysén	Magallanes
2013	166.33	301.87	169.99
2014	168.91	287.21	172.78
2015	174.54	296.80	178.54
2016	181.52	308.67	185.69
2017	189.24	321.79	193.58
2018	197.28	335.46	201.80
2019	205.67	349.72	210.38
2020	214.28	364.36	219.19
2021	223.11	379.39	228.23
2022	232.17	394.79	237.49
2023	241.45	410.57	246.99
2024	250.95	426.72	256.70
2025	260.66	443.24	266.64
2026	270.59	460.11	276.79
2027	280.72	477.34	287.15
2028	291.05	494.91	297.72

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INE

3.4.4. Resultados

Con el objetivo de completar la presentación de los resultados obtenidos, a continuación se presenta la Tabla 42 con los resultados de las proyecciones de demanda de energía eléctrica en MWh arrojadas por los modelos seleccionados:

TABLA 42 - 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

Año	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Puerto Williams	Aysén	Carrera	Palena	Hornopirén	Cochamó
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
Tasas anuales acumulativas									
Hist. 2004-2013	3.7%	6.7%	10.2%	1.1%	3.9%	6.1%	2.8%	20.4%	15.5%
Proy. 2014-2028	4.0%	6.5%	8.1%	1.5%	3.6%	4.1%	6.4%	8.2%	10.7%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INE

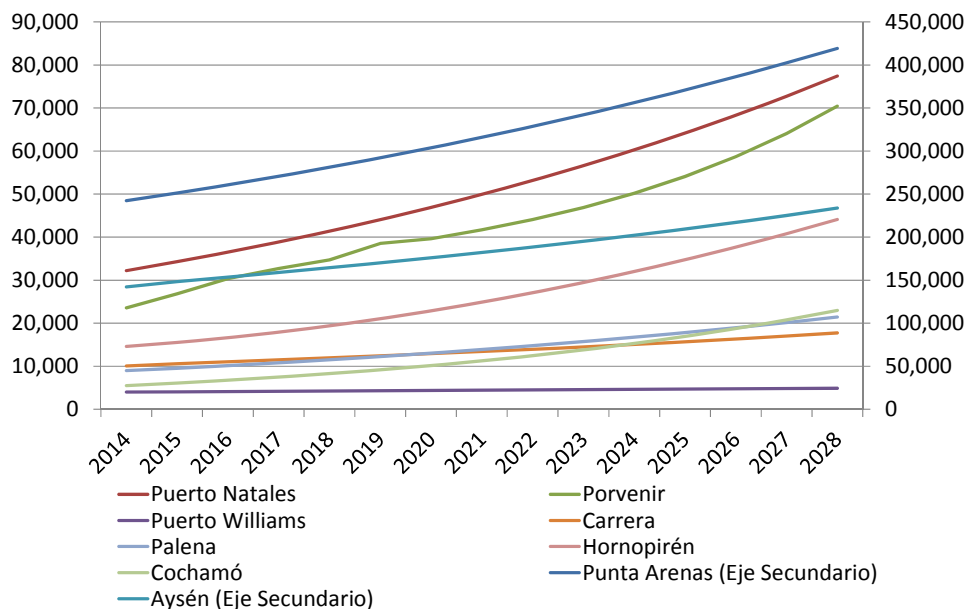
Es importante recordar que el valor proyectado para el Sistema Mediano Palena proviene del promedio aritmético entre el valor proyectado de dos modelos, a saber, Modelo Anual 3 y Modelo Anual 6.

La Tabla 42 muestra que el Sistema Mediano Cochamó es aquel que exhibe una tasa de crecimiento proyectada más alta. Sin embargo, en términos nominales la variación anual de este último sistema en ningún caso supera los 2,500 MWh. Por su parte, 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. Esta situación responde a que la base sobre la que comparamos es inferior a la de los demás sistemas.

En la Tabla 42, además, se observa una desaceleración fuerte en los Sistemas Cochamó y Hornopirén. En particular, esta situación responde al quiebre estructural del año 2005 que produce tasas promedio históricas muy elevadas. Por ejemplo, si consideramos el crecimiento promedio de Hornopirén en el período 2007-2006, la tasa promedio histórica se reduce a 6.3%.

A continuación se exhibe la Gráfica 16 donde puede observarse la evolución de los consumos de energía eléctrica de los Sistemas Medianos dentro de horizonte de proyección:

GRÁFICO 16 - EVOLUCIÓN DE CONSUMOS (MWh) DE LOS SISTEMAS MEDIANOS, 2014-2028.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL INE

Tal como se muestra en la Gráfica 16, el Sistema Mediano más grande en términos de Consumo Eléctrico es Punta Arenas, al cual le siguen los Sistemas Aysén, Puerto Natales y Porvenir. Resulta interesante destacar que 3 de los 4 Sistemas más grandes pertenecen a la Región de Magallanes (Región XII).

3.4.5. Estacionalidad de los Sistemas Medianos

Teniendo en cuenta que los Sistemas Medianos, por su ubicación latitudinal, se encuentran afectados por la disponibilidad de luz natural y las condiciones climáticas a lo largo del año, es necesario considerar la estacionalidad presente en sus demandas eléctricas. Realizar este análisis permite ver los requerimientos mensuales de cada sistema mediano.

Para poder estimar los coeficientes de estacionalidad, se siguieron los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Se estimaron modelos ARIMA para todos los Sistemas Medianos objeto de estudio. Dado que se busca evaluar la estacionalidad, los mismos fueron calculados a paso mensual, agregando tantos términos autorregresivos como fuesen necesarios para que el residuo estimado sea ruido blanco.
- **Paso 2:** Una vez obtenida la especificación adecuada para cada Sistema, se procedió a proyectar el consumo eléctrico (MWh) para el período enero 2014 – diciembre 2028.
- **Paso 3:** Ya obtenida la proyección de la serie para cada sistema, se calculó la participación de cada uno de los meses del año 2028 sobre el total. A continuación, se presentan la Tabla 43 con los resultados obtenidos:

TABLA 43 - COEFICIENTES DE ESTACIONALIDAD – SISTEMAS MEDIANOS

Mes	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Puerto Williams	Aysén	Palena	Carrera	Hornopirén	Cochamó
enero	7.49	7.87	8.18	6.21	8.42	8.06	8.01	7.54	8.38
febrero	7.07	7.56	7.86	6.23	7.53	7.72	7.39	7.35	8.01
marzo	8.45	8.62	9.12	8.53	8.20	8.55	8.25	8.55	7.88
abril	8.65	8.60	9.05	8.85	8.06	8.72	8.27	8.35	7.97
mayo	9.18	8.98	8.80	9.42	8.53	8.83	8.87	8.75	8.66
junio	9.10	8.78	8.43	9.00	8.57	8.68	8.90	8.79	8.89
julio	9.25	8.84	8.44	9.17	8.81	8.67	8.95	8.56	8.89
agosto	9.03	8.68	8.38	9.38	8.78	8.81	8.83	9.05	9.08
septiembre	8.16	8.03	7.58	8.95	7.98	8.16	8.18	8.29	8.51
octubre	8.16	8.15	8.14	8.92	8.30	8.17	8.18	8.61	8.28
noviembre	7.65	7.85	8.19	8.40	8.23	7.71	7.91	8.00	7.71
diciembre	7.83	8.04	7.82	6.95	8.57	7.94	8.25	8.15	7.73

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DEL INE Y PROGRAMA E-VIEWS

Como puede apreciarse en la Tabla 43, durante los meses de menor temperatura, es decir invierno, el consumo aumenta en todas las regiones. Sin embargo, la relación entre el valor medio y el pico de consumo es distinta entre los distintos sistemas medianos.

3.5. CONCLUSIONES

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

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

TABLA 44 - RESUMEN DE LAS PROYECCIONES SIC, SING Y SSMM (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

Tasas anuales acumulativas							
Histórico	5.9%	4.8%	5.9%	4.8%	4.5%	5.9%	4.8%
Proy. 2014-2028	5.8%	4.9%	4.7%	4.7%	4.6%	4.2%	4.6%

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

Tal como puede apreciarse en la Tabla 44, se proyecta una tasa de crecimiento del consumo de electricidad del SING y SIC inferior al crecimiento histórico, con excepción del escenario alto del SING. Nótese que la crisis económica internacional significó un crecimiento económico promedio inferior.

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 ha calculado 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.

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia, a lo largo del Tomo II de este Informe Final se calcularon las tasas de proyección de ventas de electricidad considerando un horizonte de 30 años. Estas 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 Tomo II del presente Informe Final. En el caso del SIC y el SING las tasas proyectadas (tendenciales y extratendenciales) corresponden a 3.0% y 2.4%, respectivamente. La tasa de los Sistemas Medianos fue estima con la misma metodología que para el SIC y SING. En el Tomo II del presente Informe Final se describe el procedimiento, y se concluye que la tasa corresponde a 2.3%.

En la Tabla 45 se presentan las proyecciones por sistema eléctrico para un horizonte de 30 años:

TABLA 45 - PROYECCIONES DE LARGO PLAZO DE GENERACIÓN BRUTA SIC, SING Y SSMM (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

Año	Escenarios Alto		Escenarios Medio			Escenarios Bajo	
	SIC	SING	SIC	SING	Sistemas Medianos	SIC	SING
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
Tasas anuales acumulativas							
Histórico	5.9%	4.8%	5.9%	4.8%	4.5%	5.9%	4.8%
Proy. 2014-2028	5.8%	4.9%	4.7%	4.7%	4.6%	4.2%	4.6%
Proy. 2028-2044	3.0%	2.4%	3.0%	2.4%	2.3%	3.0%	2.4%

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