



**PROGRAMA DE GESTIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE CHILE**



PROGRAMA DE GESTIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL (PROGEA)

UNIVERSIDAD DE CHILE

Departamento de Ingeniería Industrial

Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo

Informe Final

Preparado para la Comisión Nacional de Energía

**Investigador Responsable: Raúl O`Ryan.
30 de Junio, 2008**



INTRODUCCION	5
A. EVOLUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN CHILE	7
1 Situación actual	7
2 Evolución de consumo final de energía 1982-2006	11
3 Comportamiento de consumo sectorial.....	13
4 Comportamiento de los precios de los energéticos	15
B. MODELOS ENERGETICOS UTILIZADOS EN EL MUNDO.....	18
1 Introducción.....	18
2 Clasificación y Categorías de Modelos Energéticos.	18
2.1 Clasificación según propósito/objetivo del modelo	19
2.2 Clasificación según cobertura espacial	19
2.3 Clasificación Según Enfoque de Modelación	19
2.4 Clasificación “bottom up” versus “top down”	22
2.5 Resumen de Categorías de Modelos	24
2.6 Presentación de Principales Modelos Utilizados y sus Aplicaciones.....	25
2.7 Conclusión	34
3 Modelos de Estimación de Consumo de Largo Plazo	35
3.1 Tipos de Modelos para Pronosticar Consumos Energéticos de Largo Plazo.....	35
3.2 Resumen de Metodologías Usuales de Proyección de Demanda.....	41
3.3 Visión integrada de los modelos.....	42
C. MODELO DE ESTIMACION DE CONSUMO ENERGETICO PARA CHILE	46
1 Introducción.....	46
2 Criterios para Seleccionar un Modelo de Estimación de Consumo de Largo Plazo	47
2.1 Requerimiento de propósito.....	47
2.2 Otras Características Deseables para un Modelo de Consumo de Largo Plazo ...	50
3 Propuesta General de Modelo de Proyección de Consumo Energético de Largo Plazo	51
3.1 Antecedentes generales.....	51
3.2 Metodología de Proyección Propuesta.....	53
3.3 Sectores considerados.....	55



3.4 Modelos por sector	58
3.4.1 Sector Industrial	58
3.4.1.1 Subsector Cobre	58
3.4.1.2 Subsector Papel y Celulosa	68
3.4.1.3 Subsector Cemento	78
3.4.1.4 Subsector Industrias y Minas Varias	88
3.4.1.5 Otros sectores	99
3.4.2 Sector Comercial, Público y Residencial (CPR)	100
3.4.3 Sector Transporte	108
3.4.3.1 Sub sector transporte terrestre	108
3.4.3.2 Sub sector transporte aéreo	114
3.4.3.3 Sub sector transporte marítimo	115
3.4.3.4 Sub sector transporte ferroviario	119
3.4.3.5 Otros consumos del sector transporte	120
3.5 Consumos energéticos agregados	124
3.6 Escenarios alternativos	131
D. PROPUESTA PARA CONSTRUIR CURVA DE DURACION	138
1 Introducción	138
2 Antecedentes	138
3 Metodología propuesta	141
4 Aplicación	145
5 Uso de modelos de estimación	151
E. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO DE PROYECCION DE CONSUMO ENERGÉTICO FUTURO	153
Referencias	159
ANEXO	161
Anexo 1: Modelo LEAP	161
Anexo 2: Modelo MAED	165
Anexo 3: Resumen de metodologías empleadas en el cálculo del consumo energético.	202
Anexo 4: Regresiones Sectoriales y Datos históricos	205
Anexo 5: Datos de Proyecciones	227



<i>Anexo 6: Proyección de demanda eléctrica SIC y SING.....</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 7: Metodología Estimación Consumo de Combustibles Transporte Terrestre....</i>	<i>247</i>
<i>Anexo 8: Demanda máxima estimada para el SIC y SING.....</i>	<i>271</i>
<i>Anexo 9: El Modelo LEAP y una Propuesta Preliminar de implementación para Chile</i>	<i>272</i>



INTRODUCCION

El presente informe ha sido elaborado por el Programa de Gestión y Economía Ambiental del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile (PROGEA) y corresponde al informe final del proyecto **“Diseño de un Modelo de Proyección de Demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo”**, preparado para la Comisión Nacional de Energía (CNE).

El objetivo general del estudio es diseñar un modelo de proyección de demanda energética de largo plazo con una dimensión espacial y sectorial, que permita evaluar la evolución de la demanda y los impactos de modificaciones en variables económicas, sociales, ambientales, tecnológicas o de políticas aplicadas. El alcance acordado del estudio considera una proyección del consumo de energía final por sector de consumo relevante, hasta el año 2030.

Los objetivos específicos buscados por la CNE para proyectar el consumo energético son:

- Definir un marco conceptual y de información para un modelo de proyección de demanda energética nacional, incluyendo metodologías, desagregación espacial y sectorial, disponibilidad de información y validez.
- Diseñar un modelo simple y transparente de proyección del consumo energético a largo plazo compatible con los antecedentes disponibles y adaptable a cambios estructurales futuros y mayor obtención de información.
- Aplicación del modelo en escenarios razonables, con la información de disponibilidad inmediata, e indicando la información faltante para hacer la proyección completa.

Para responder a estos objetivos, el informe se ha estructurado en cinco capítulos. En el primer capítulo se presenta una revisión del consumo histórico de energía en Chile, la evolución del consumo sectorial y de los precios de los energéticos. Esto permite poner en contexto la evolución futura del consumo de energía final para cada sector y energético.

En el segundo capítulo se analizan metodologías de modelación de variables energéticas usadas en el mundo. Se diferencia estos modelos según clasificación y categorías de modelos energéticos. En particular se analizan los modelos de proyección de consumo de largo plazo.



En el siguiente capítulo se describe y justifica el modelo de consumo energético de largo plazo elegido para Chile. En particular se describen los supuestos metodológicos seleccionados para proyectar el consumo energético sectorial y agregado. Se hacen supuestos que permiten construir un escenario de línea base hasta el año 2030. Finalmente se desarrollan diversos análisis de sensibilidad en torno al crecimiento del PIB lo que permite examinar un rango de consumos potenciales en el largo plazo.

En el cuarto capítulo se propone una metodología y se desarrolla su aplicación para construir una curva de duración y proyecciones de demanda eléctrica diferenciada espacialmente. Lo anterior se elabora en función de los consumos de energía eléctrica proyectados en el capítulo anterior. En particular se realiza un ejercicio inicial de diferenciación espacial entre el sistema interconectado central (SIC) y el sistema interconectado del norte grande (SING).

Finalmente en el quinto capítulo se detallan las conclusiones del estudio y se dan recomendaciones de trabajo a futuro. Además se hace una propuesta de cómo realizar a futuro un análisis de la demanda en base a disponer de mayores antecedentes e implementar un modelo más detallado.

Además, como producto del proyecto se entrega una planilla en la que es posible simular diversos escenarios de análisis de demanda.

A. EVOLUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN CHILE¹

1 Situación actual

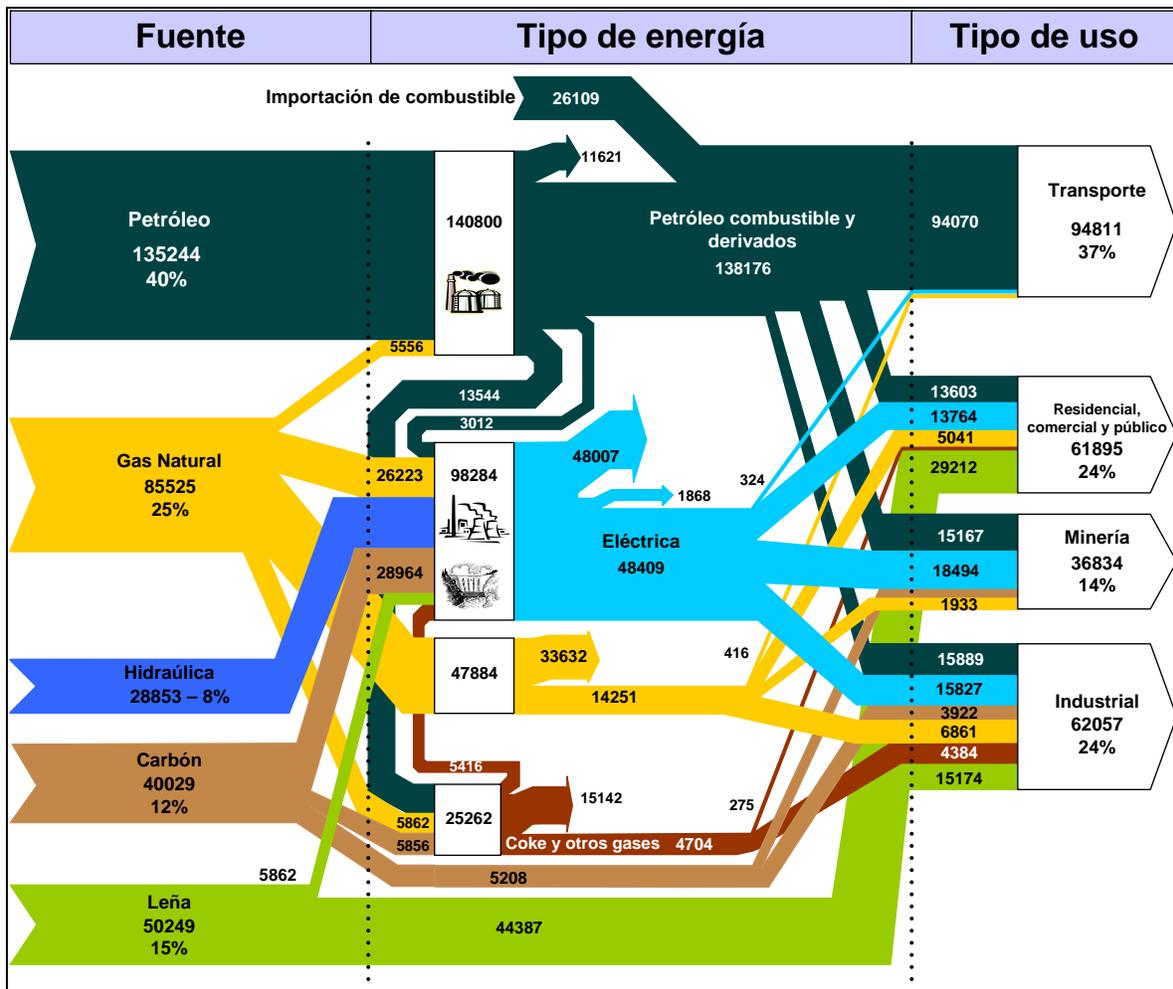
De acuerdo al Balance de Energía (2006) el consumo energético de Chile está determinado por el consumo final de tres grandes sectores consumidores: transporte; industrial y minero; y residencial, público y comercial (CPR). Debido a la importancia del consumo minero conviene separarlo del industrial, considerando los subsectores cobre, hierro, salitre y minas varias². La Figura 1 muestra el flujo de energía para el año 2006, a partir del cual se puede observar la importancia de cada tipo de energía en el consumo final de cada sector.

El transporte es el mayor demandante de energía, representando el 37% del consumo final de energía. En este caso, el consumo energético se concentra en un 99% en un solo producto, los derivados del petróleo, que incluyen básicamente petróleo diesel y gasolinas. Existe además un consumo eléctrico menor asociado al Metro y Ferrocarril y gas asociado a un parque menor de vehículos livianos. El sector industrial representa el 24% del consumo final. Este sector presenta un consumo bastante diversificado de energéticos, demandando recursos de todas las fuentes consideradas. Sin embargo, el 75% de su consumo energético se concentra en tres fuentes: derivados del petróleo (26%), electricidad (25%) y leña (24%). El sector CPR representa un 24% del consumo final de energía. La mayor fuente energética es la leña, correspondiendo a un 49% del consumo total, fuente que es utilizada en su gran mayoría para cocina y calefacción. La electricidad y derivados del petróleo son igualmente importantes en la demanda final, correspondiendo a un 19% y 23% respectivamente. El gas natural ha aumentado su importancia llegando a representar el 8% del consumo final de este sector. Finalmente, el sector minero consume el 14% del total de energía final. La electricidad es un energético relevante para este sector correspondiendo al 50% del consumo total. Los derivados del petróleo, por su parte, corresponden a un 41% de este consumo.

¹ Esta sección se basa en Palma y Jiménez (2007)

² Desafortunadamente la separación entre industrias varias y minas varias solo existe desde 1997, lo que impide separarlos para las regresiones que se especifican en los siguientes capítulos.

Figura 1 Flujo de energía para el año 2006 en GWh.



Fuente: CNE

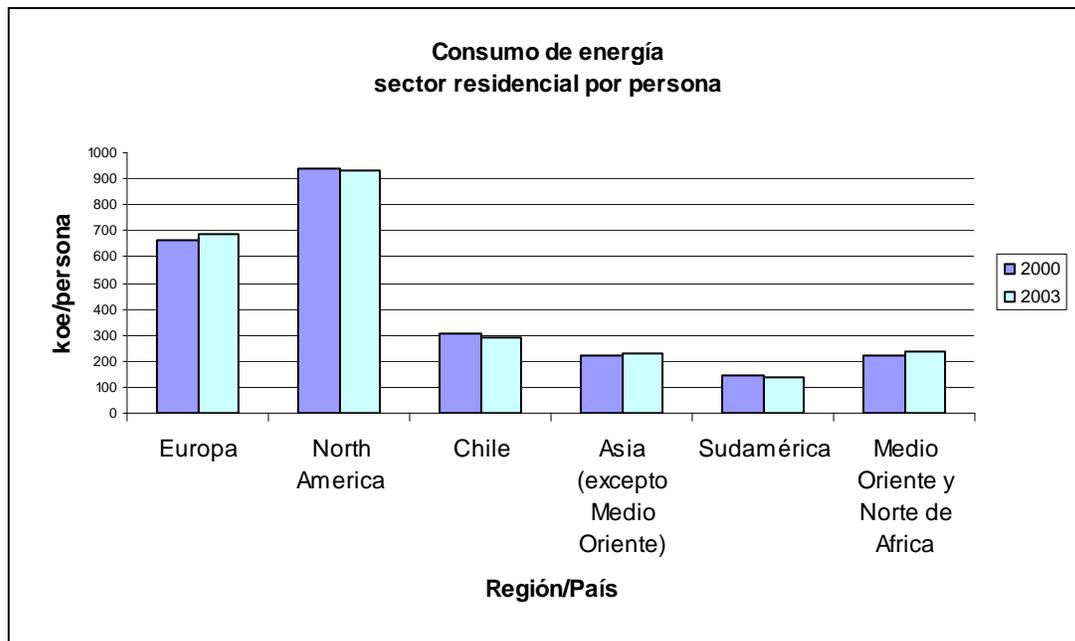
Si bien, como se discutirá en la sección siguiente, ha habido en Chile un crecimiento significativo del consumo energético en la última década, los consumos específicos de cada sector se mantienen bajos comparados con los de países desarrollados.

En la figura 2 se presenta el consumo específico del sector residencial para diversas regiones del mundo, durante los años 2000 y 2003. El consumo específico en este sector se define como el consumo final de energía por habitante, expresado en kilogramos equivalentes de petróleo (koe) por persona. El consumo final corresponde a los energéticos empleados por los hogares para todas sus actividades, a excepción del transporte.

En la figura se aprecia que el consumo específico de Chile en el año 2003 es un 43% del consumo específico de Europa y sólo un 32% del de Norteamérica. Sin embargo, se

muestra superior a los consumos específicos de Asia y del Medio Oriente y Norte de África en un 29% y 23% respectivamente. Asimismo, resulta superior al de Sudamérica en promedio, doblando el consumo específico de la región.

Figura 2: Consumo específico de energía en el sector residencial



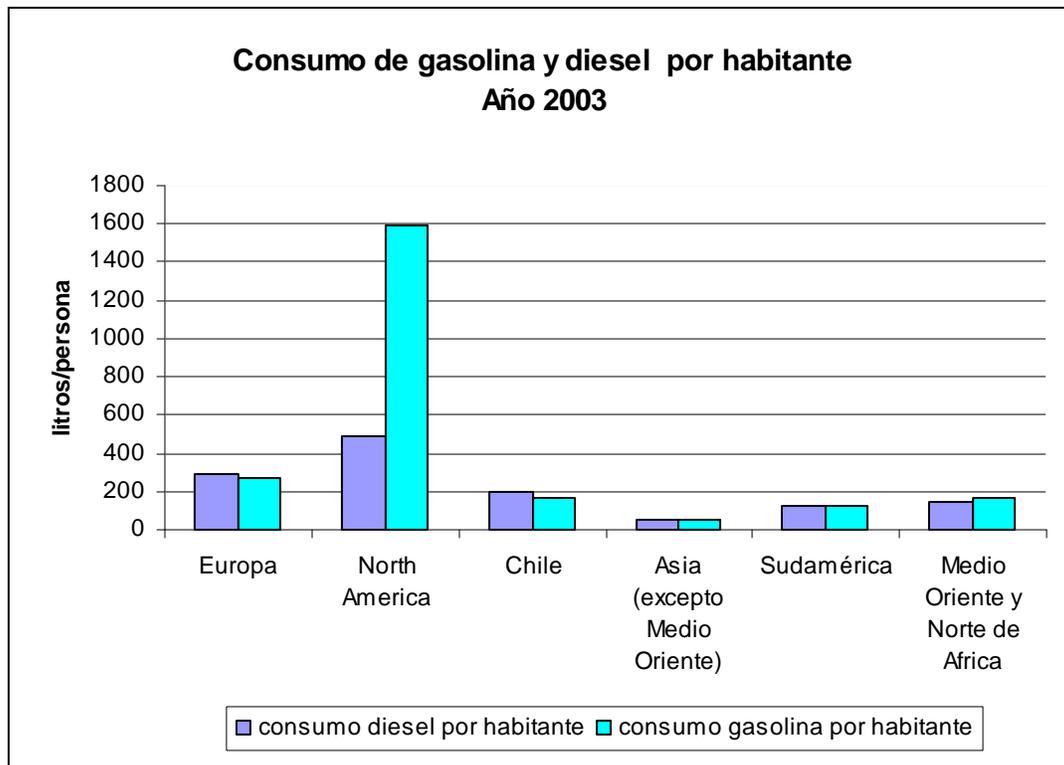
Fuente: Elaboración propia. Base de Datos Earth Trends. World Resources Institute

La figura 3 presenta el consumo de gasolina y diesel por habitante para varias regiones del mundo durante el año 2003. Los valores son expresados en litros de combustible consumidos por persona.

Al igual que en el sector residencial, se observa que el consumo de gasolina y diesel por habitante en Chile es inferior al de Europa y Norteamérica. En efecto, el consumo de gasolina en Chile representa un 61% del consumo europeo y sólo un 11% del consumo norteamericano, mientras que el consumo de diesel por habitante en Chile es un 70% del de Europa y un 41% del de Norteamérica.

El consumo específico de ambos combustibles es, sin embargo, superior al de Asia, siendo casi 4 veces mayor. Con respecto a los consumos del Medio Oriente y Norte de África, el consumo específico de diesel en Chile es 37% mayor, mientras que el de gasolina es casi el mismo. Con respecto a Sudamérica, el consumo específico de gasolina y diesel en Chile es un 48% superior al de su región en promedio.

Figura 3: Consumo específico de energía sector transporte

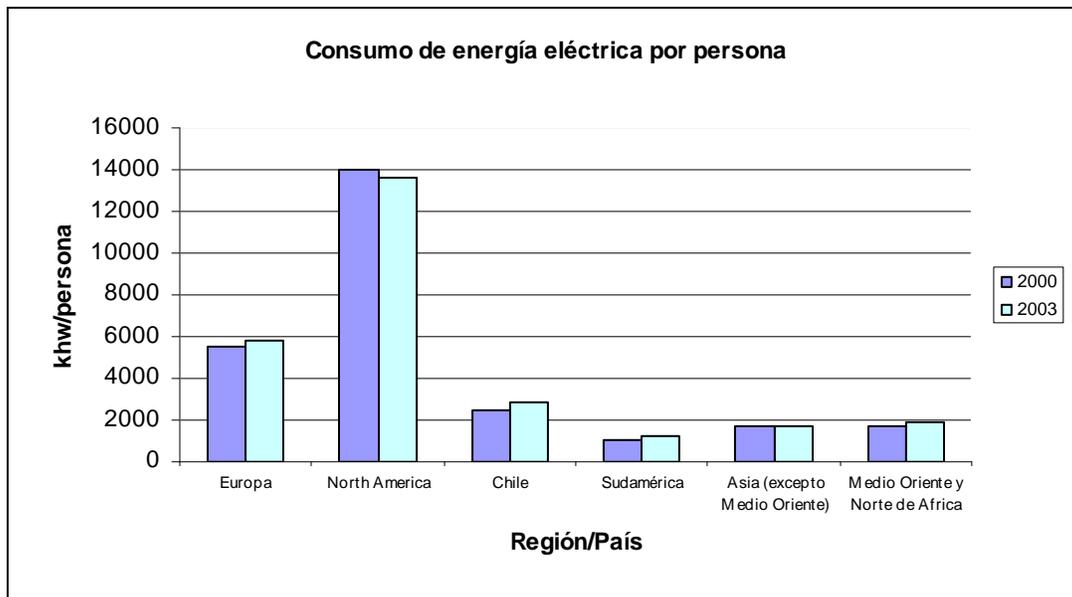


Fuente: Elaboración propia. Base de Datos Earth Trends. World Resources Institute

En la figura 4 se presenta el consumo eléctrico por habitante durante los años 2000 y 2003 para varias regiones del mundo, expresado en kilowatt-hora por persona (kwh/persona). Se aprecia que el consumo por persona en Europa es el doble del observado en Chile, mientras que el consumo de Norteamérica es 4,7 veces mayor.

Nuevamente en este caso el consumo específico del país es superior al de otras regiones del mundo; en efecto, en el año 2003 dobla el consumo de Asia, y resulta ser un 50% superior al de Medio Oriente y Norte de África. Con respecto a Sudamérica, el consumo eléctrico por persona en Chile es 2,3 veces superior al de la región en promedio.

Figura 4: Consumo de energía eléctrica por persona



Fuente: Elaboración propia. Base de Datos Earth Trends. World Resources Institute

La evidencia presentada muestra que en Chile las posibilidades de crecimiento del consumo energético son elevadas al compararlos con los países desarrollados. En efecto, para alcanzar los niveles de consumo europeos en los sectores residencial y de transporte, Chile tendría que duplicar su consumo específico. Asimismo en el caso del consumo eléctrico por habitante, el consumo de Chile es sólo la mitad del europeo y una quinta parte del norteamericano.

2 Evolución de consumo final de energía 1982-2006

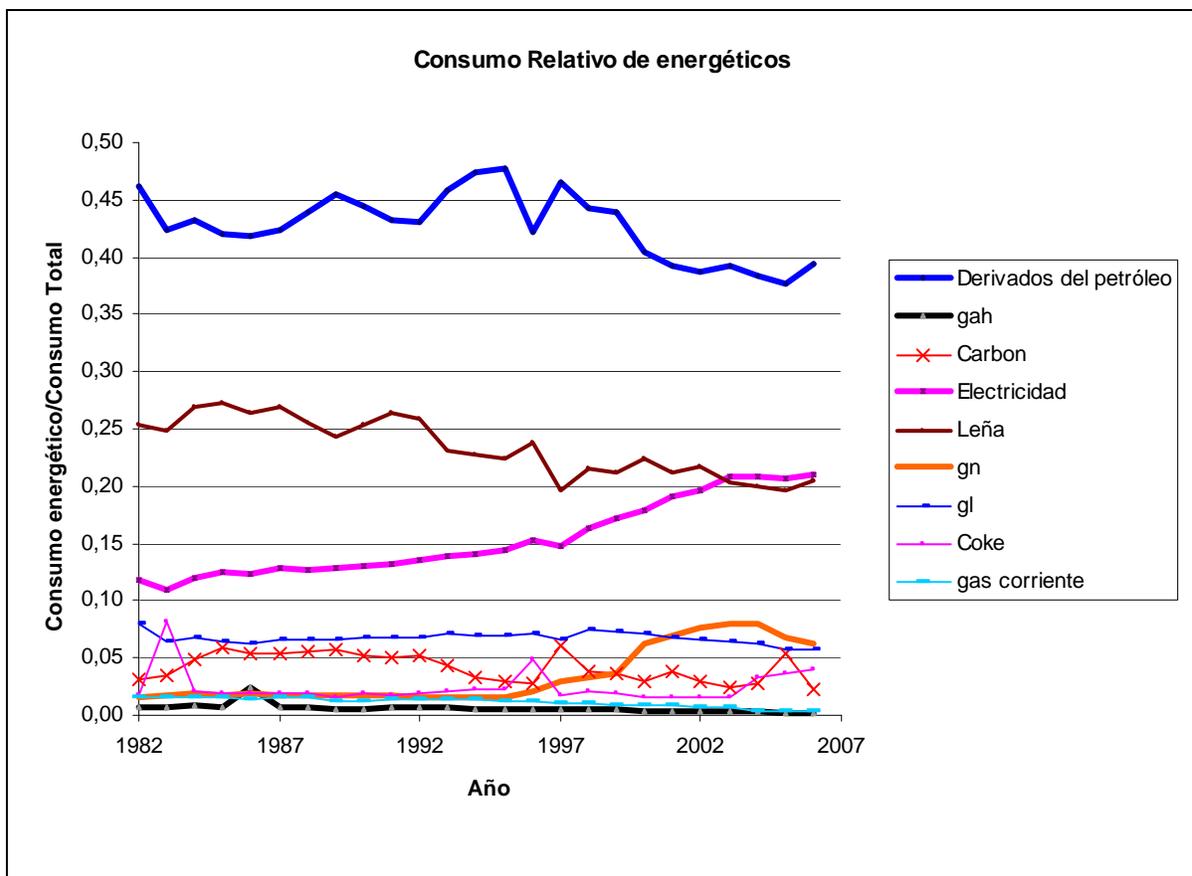
Antes de analizar la demanda energética esperada para los próximos 24 años (hasta el 2030), es interesante examinar lo que ha sucedido con ésta en un periodo similar. Considerando el consumo total de energía final entre el año 1982 y el año 2006, se observa que éste ha aumentado más de 3 veces en el periodo, pasando de 71.659 teracalorías a 240.579 teracalorías.

Como se puede apreciar en la figura 5, hay una clara tendencia al aumento de la importancia relativa de la energía eléctrica en el período, partiendo con un 12% de participación en el consumo final de energía en el año 1982, y alcanzando un 21% de participación en el año 2006. El gas natural también muestra una tendencia al aumento en el período 1982-2004, partiendo con un 1,6% de participación en el consumo final, y alcanzando un 8% en el 2004. A partir del 2004 se observa una disminución en el consumo

relativo de este energético, llegando al 6,3% en 2006 al reducirse la disponibilidad del gas argentino.

Por otro lado, se observa en el período una tendencia a la baja en la importancia relativa de la leña y derivados del petróleo. En el caso de la leña, la disminución relativa del consumo parte de 25% en 1982 y llega a 20% en 2006. En cuanto a los derivados del petróleo, se observa que la disminución del consumo relativo varía desde un 46% en 1982 a un 39% en 2006.

Figura 5: Evolución del consumo relativo de energéticos. Período 1982-2006.



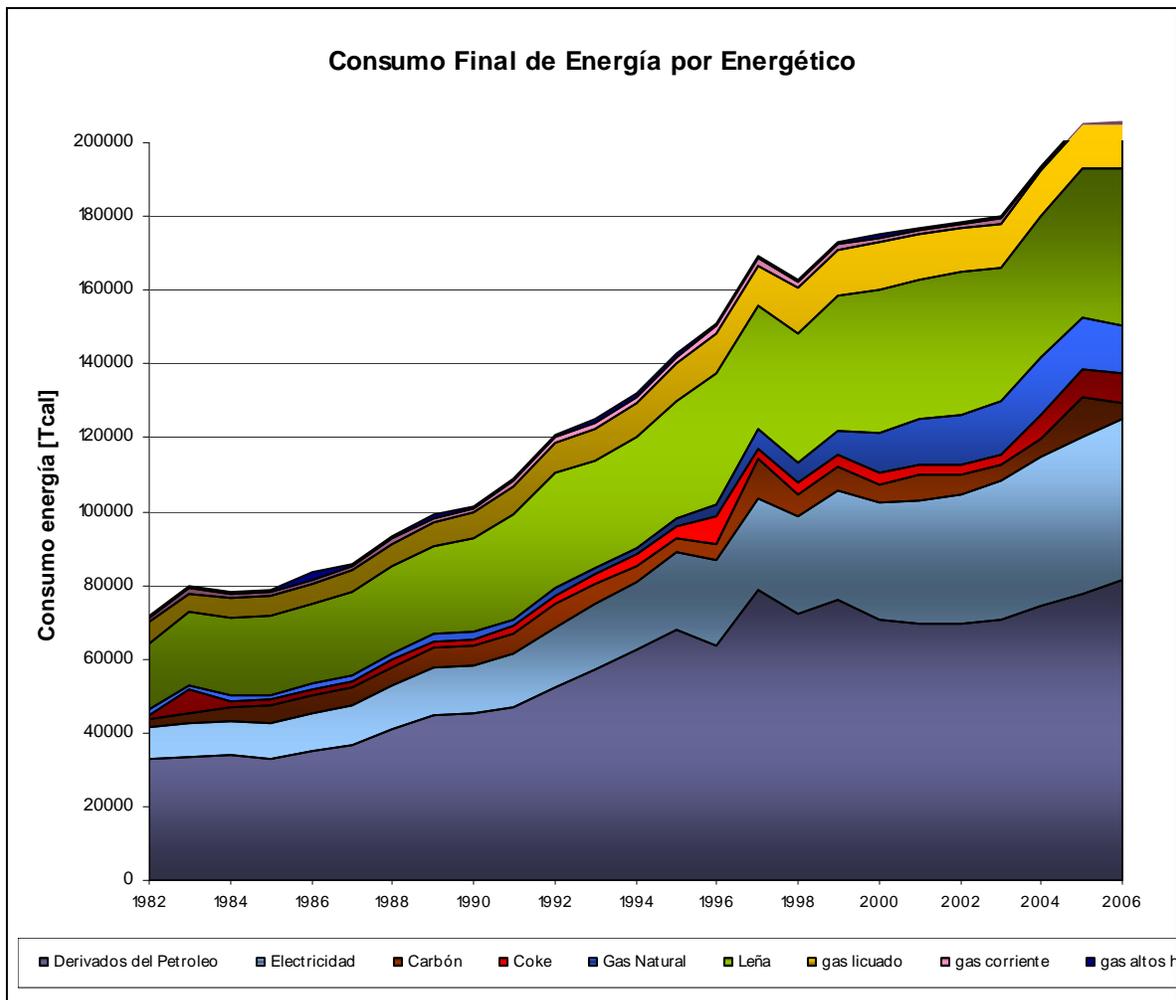
Fuente: CNE

En la figura 6 se presenta la evolución en Chile del consumo final de energéticos en términos absolutos, durante el período 1982-2006. Se observa que en términos absolutos el consumo de electricidad ha aumentado 5 veces en este período, mientras que el gas natural ha aumentado 11 veces.

Por otro lado, el consumo absoluto de leña ha aumentado 2,3 veces en el período, mientras que el de derivados de petróleo ha aumentado 2,5 veces. Dado que en términos absolutos el

consumo de la leña y de los derivados del petróleo ha ido en aumento a lo largo del período, su disminución en la participación relativa del consumo de energéticos (figura 5) es debida a un efecto sustitución.

Figura 6. Evolución del consumo de energía final por energético (1982-2006).



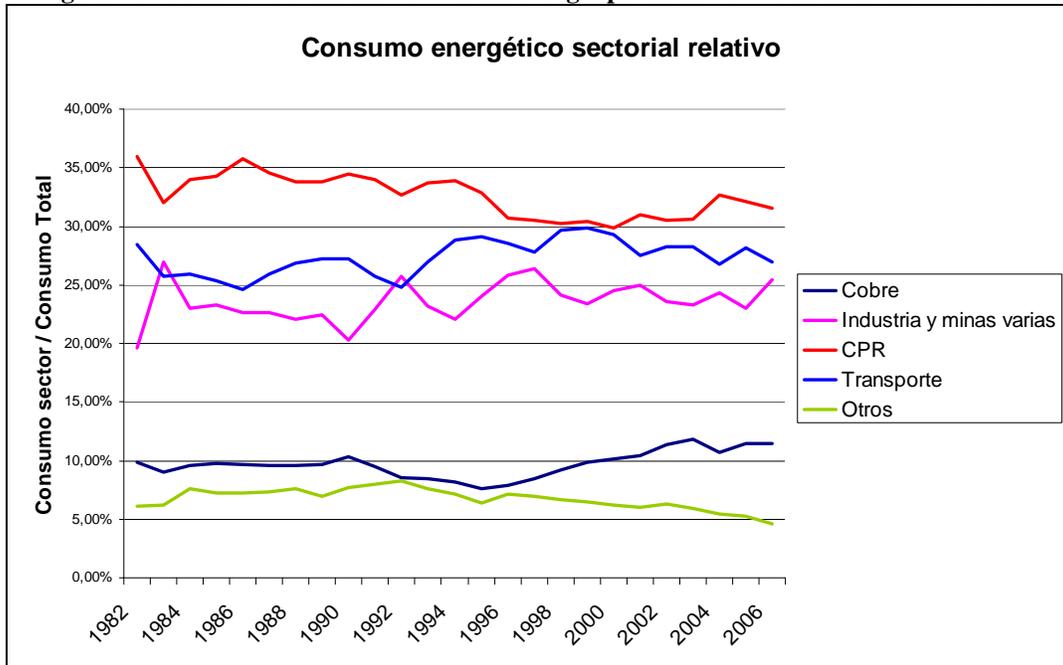
Fuente: CNE

3 Comportamiento de consumo sectorial

La Figura 7 muestra la evolución del consumo final de energía por sector económico en relación al consumo total. Se puede observar que el sector que demanda mayores cantidades de energía es el CPR, cuyo consumo presenta una ligera tendencia a la baja, variando de un 36% a un 32% en el período considerado. La participación de los sectores industria y transporte se ha mantenido estable durante el período, presentando en promedio un consumo relativo del 24% y 27% respectivamente.

Con respecto al aumento del consumo de energía, el sector que ha presentado un mayor crecimiento es el de minería. En efecto, entre 1995 y 2006 el sector cobre aumenta su consumo relativo desde 7,6% a 11,5% del consumo total, lo cual se traduce en términos absolutos en una duplicación de su consumo energético en 10 años.

Figura 7: Evolución del Consumo final de energía por sector en relación al consumo total

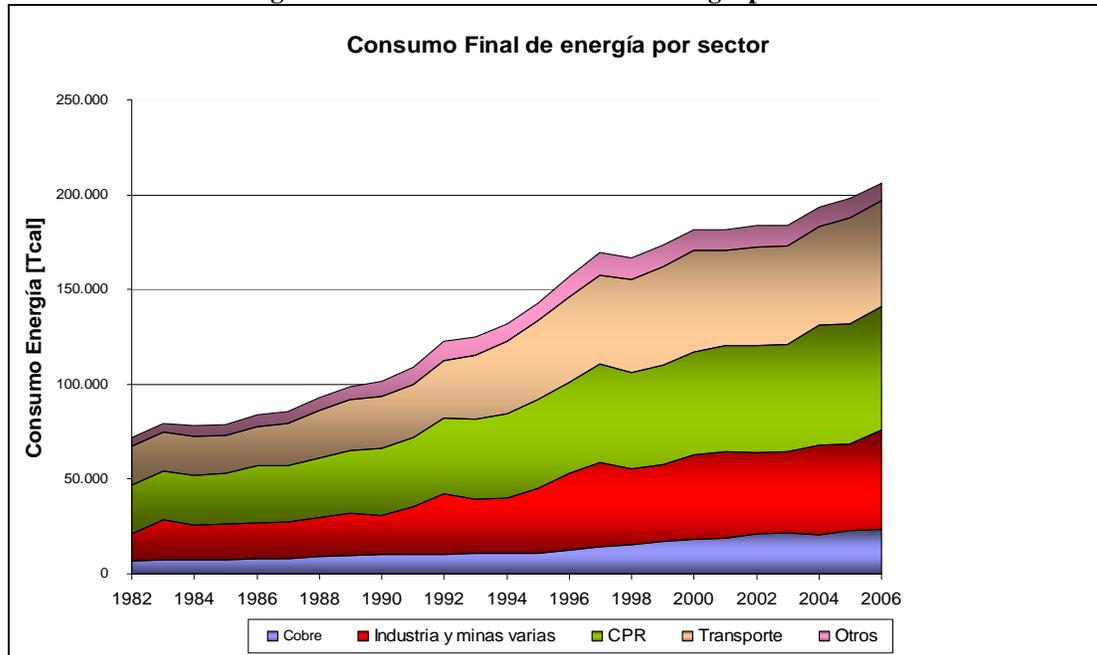


Fuente: CNE

En la figura 8 se observa la evolución del consumo absoluto de energéticos por sector. En términos generales hay un aumento de la demanda energética en todos los sectores considerados a lo largo del período.

En el caso del cobre, el consumo se ha triplicado entre 1982 y 2006. Asimismo en los sectores transporte y residencial, donde el consumo energético en el 2006 es 2,7 veces y 2,5 veces el consumo del año 1982 respectivamente. El sector industria y minas varias igualmente han aumentado su consumo energético en casi 4 veces a lo largo del período considerado.

Figura 8. Evolución del consumo de energía por sector.



Fuente: CNE

4 Comportamiento de los precios de los energéticos

Durante los últimos años, los precios internacionales de los energéticos primarios han experimentado un alza continua en términos reales. Esta situación resulta compleja para aquellos países que importan gran parte de sus combustibles, como es el caso de Chile.

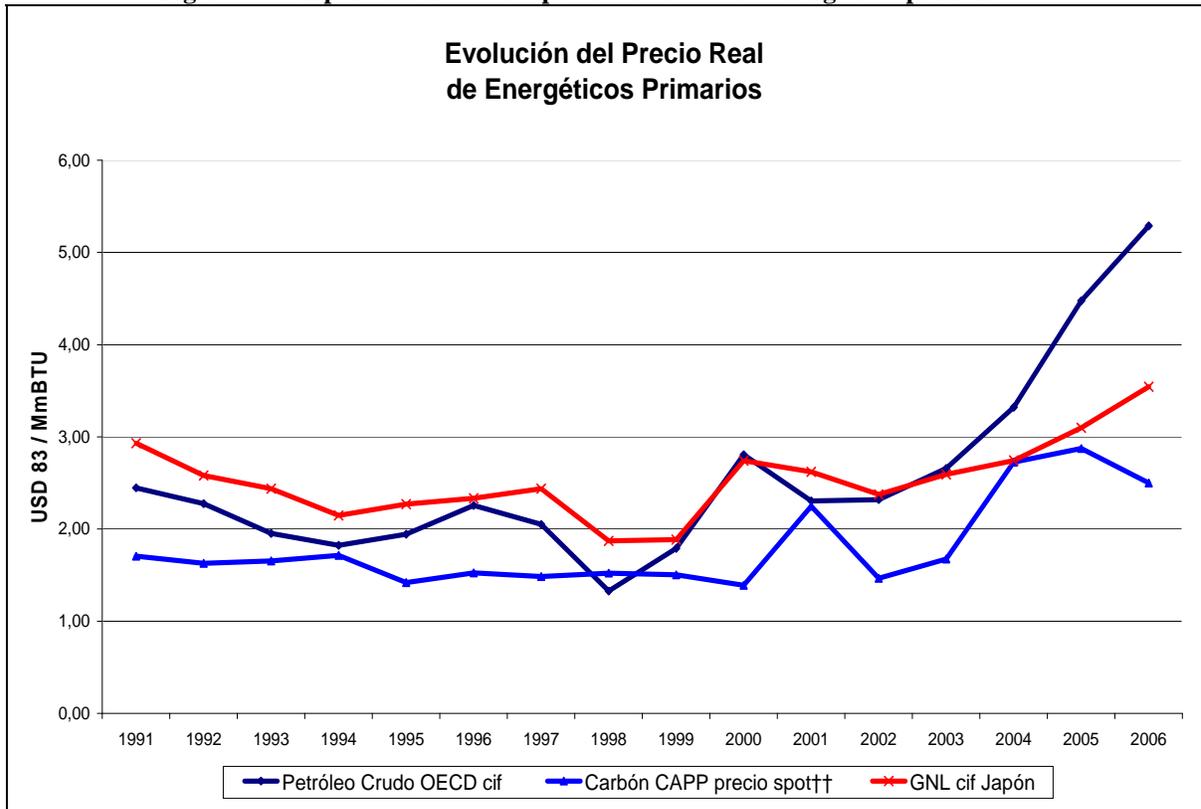
La Figura 9 muestra la evolución de los precios reales del petróleo, gas natural licuado y carbón en mercados de relevancia internacional entre 1991 y 2006, expresados en dólares americanos de 1983. En general, todos estos energéticos presentan una tendencia al alza durante el período.

En el caso del carbón CAPP, se observa un comportamiento estable del precio entre los años 1991 y 2000 con variaciones en torno a los 1,57 USD 83 / MmBTU. Sin embargo, a partir del año 2000 el precio del carbón tiende al alza, aumentando en un 71% entre los años 2001 y 2006.

Con respecto al precio real cif del petróleo en la OECD, se observa una tendencia alcista durante todo el período. Sin embargo, entre los años 2002 y 2006 esta tendencia se incrementa, llegando a doblarse el precio real.

El precio cif del gas natural licuado, por su parte, también muestra una tendencia al alza durante todo el período, experimentando su mayor alza entre 2002-2006, con un aumento de su precio en un 50%.

Figura 9. Comportamiento de los precios reales de los energéticos primarios.



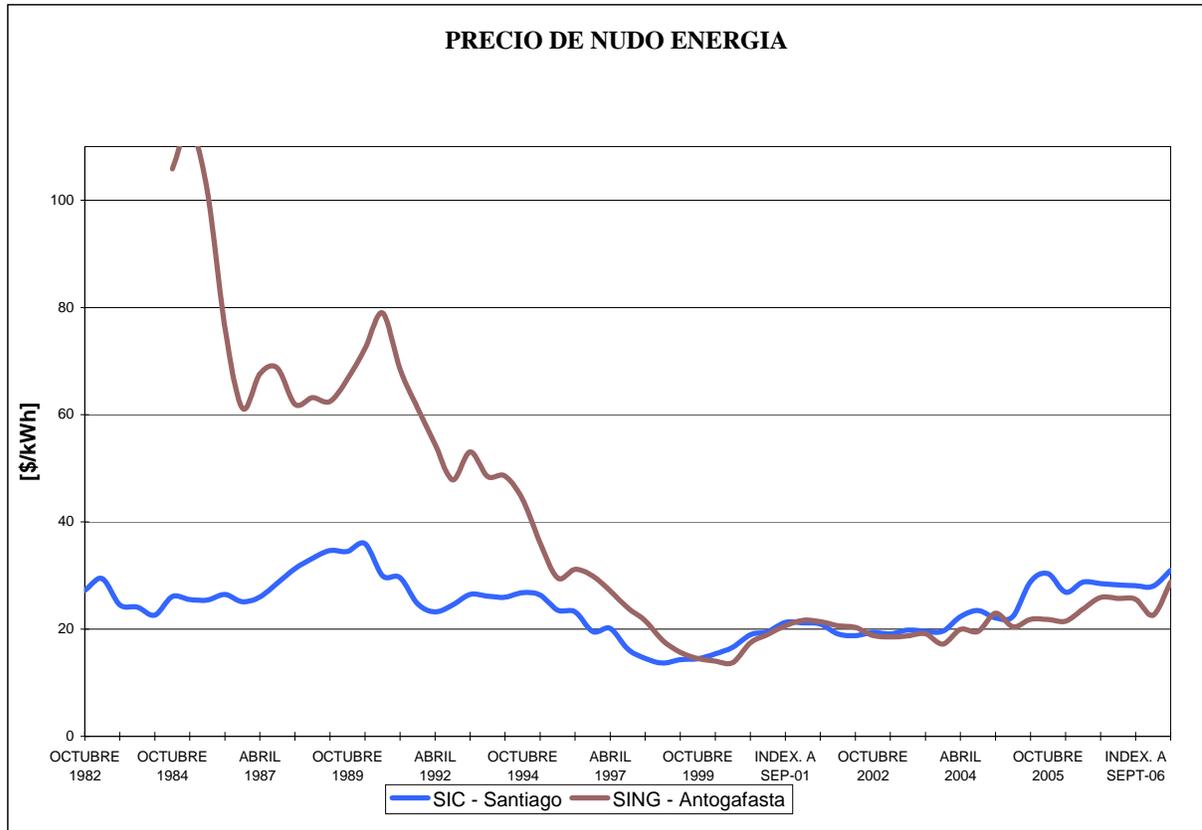
Fuente: BP. Energy Review 2008. Para calcular los valores en dólares constantes se emplea el CPI del Bureau of Labor Statistics.

††: CAPP: Precio spot Carbon de la Central Appalachia.

En la figura 10 se muestra la evolución del precio de la energía eléctrica en Chile durante el período 1982-2006, expresado en pesos chilenos reales por kilowatt-hora.

Entre 1982 y 2000 el precio real de la electricidad experimenta una baja importante, llegando, en el caso de SIC, a un 70% del valor de 1982 y, en el caso de SING, a un 16% del valor de 1984. Entre 2000 y 2003 el precio de la energía tiende a mantenerse estable. A partir del año 2003 el precio de la energía eléctrica experimenta una tendencia al alza, observándose un aumento del precio del nudo en SIC y SING de aproximadamente 50%.

Figura 10. Evolución del precio real de la energía eléctrica en Chile



Fuente: CNE. Datos históricos de precios de nudo. Sistemas eléctricos chilenos. Los valores se expresan en pesos chilenos reales indexados por UF.

De acuerdo a la evidencia presentada, la tendencia histórica del consumo final de energéticos en Chile muestra un aumento sostenido, sin alcanzar aún los niveles de consumo de países desarrollados. Debido a ello, la elaboración de un modelo de proyección del consumo energético a largo plazo en Chile puede efectuarse en base a la tendencia histórica del consumo, sin la necesidad de incluir un efecto de saturación de los consumos energéticos³.

Por otro lado, la alta volatilidad que se observa en la evolución histórica de los precios reales de los energéticos muestra que no es recomendable su inclusión en un modelo de proyección a largo plazo. No se sabe como evolucionarán estos precios en términos absolutos, aunque es probable que continúen subiendo en el periodo considerado, y menos las variaciones entre los precios relativos.

³ Para un mayor de detalle de este efecto saturación véase el capítulo C. 3.1

B. MODELOS ENERGETICOS UTILIZADOS EN EL MUNDO.

1 Introducción

En los últimos años se ha hecho evidente la necesidad de desarrollar una política energética en cada país. El cambio climático, la desregulación, la oferta económica de servicios energéticos, la seguridad energética y otros desafíos se traducen en iniciativas de política energética. Según expertos, los instrumentos actuales de política energética se alejan de las alternativas tradicionales de regulación monetaria (impuestos y subsidios) hacia instrumentos no-monetarios (Laitener, et al, 2003). En esta línea, la eficiencia energética surge como un área de política relevante. La incorporación de energías renovables no convencionales (ERNC) también . Estas nuevas tendencias hacen necesario contar con herramientas adecuadas para evaluar los impactos de política energética y realizar buenos pronósticos.

Generalmente, los reguladores utilizan estudios de escenarios para evaluar ex-ante los efectos potenciales de elecciones de política particulares. Con este propósito, se utilizan distintos modelos que intentan estimar el efecto de estas elecciones, por ejemplo, en usos energéticos y en bienestar económico. Sin embargo, todos los modelos presentan virtudes y limitaciones las que serán explicadas en los siguientes puntos.

En esta sección se presentan las categorías generales de distintos modelos energéticos que hoy se utilizan para analizar el impacto de políticas energéticas y planificación energética de mediano y largo plazo. Posteriormente, se presentan algunos de los modelos específicos que se han desarrollado y empleado para realizar pronósticos, planificación y evaluación de políticas.

2 Clasificación y Categorías de Modelos Energéticos.

El uso de modelos se explica por el deseo de lograr reflejar sistemas complejos de manera simple y comprensible. Por otra parte, los modelos contribuyen en la organización de mucha información y brindan un marco consistente para testear distintas hipótesis. Un gran número de modelos se han desarrollado para llevar a cabo análisis de sistemas energéticos. Estos modelos se basan en enfoques distintos y utilizan una amplia gama de herramientas matemáticas.

Existen diversas formas de clasificar modelos energéticos. Entre las clasificaciones principales se encuentran las siguientes:

- Clasificación según propósito/objetivo del modelo
- Clasificación según cobertura espacial
- Clasificación según enfoque de modelación
- Clasificación “bottom up” versus “top down”

A continuación se presentan y explican brevemente estos criterios de clasificación.

2.1 Clasificación según propósito/objetivo del modelo

Usando el criterio de propósito/objetivo, los modelos energéticos pueden clasificarse en las siguientes categorías generales:

- (1) Modelos de Demanda
- (2) Modelos de Oferta
- (3) Modelos de Sistemas

Los modelos de demanda son aquellos modelos cuya función principal es el pronóstico de la demanda (Por ejemplo, MEDEE-S, MAED). Por otra parte, los modelos de oferta son aquellos cuyo objetivo principal consiste en la predicción, o bien, planificación de oferta (Por ejemplo, MARKAL, EFOM-ENV, WASP, DECPAC). Finalmente, los modelos de sistemas se utilizan para analizar el sistema energético en su totalidad incluyendo tanto oferta como demanda (Por ejemplo, LEAP, ENPEP, NEMS).

2.2 Clasificación según cobertura espacial

En general, los modelos energéticos son desarrollados para propósitos de planificación nacional o bien de análisis de política global. Luego, una primera clasificación considera modelos nacionales (como MARKAL, LEAP, MEDEE) y globales (como POLES). En este contexto, además de los modelos globales y nacionales existen los modelos regionales (como PRIMES modelo desarrollado para la Unión Europea). Para estimaciones de demanda eléctrica existen resoluciones espaciales mucho más finas que pueden definirse a nivel de nodo o a través de grillas que suelen ser hexagonales (Infante, 2006).

2.3 Clasificación Según Enfoque de Modelación

Los principales enfoques de modelos utilizados para la evaluación de políticas, planificación de sistemas energéticos y realización de pronósticos se describen a continuación:

▪ **Optimización**

En general, los modelos de optimización utilizan la programación lineal para identificar la configuración de mínimo costo de los sistemas energéticos y que satisfaga una demanda determinada exógenamente. La minimización se realiza con restricciones adicionales al equilibrio de mercado (se limitan explícitamente las emisiones de CO₂, las opciones tecnológicas, etc). En la resolución, se asumen típicamente condiciones de competencia perfecta.

Puede optimizar sobre el horizonte completo de la evaluación (“perfect foresight”), o bien, año a año (expectativas miopes). Este tipo de modelos suele seleccionar tecnologías en base a sus costos relativos. La solución del problema dual entrega estimaciones precios sombra de los precios de la energía.

Este tipo de modelos es especialmente útil cuando deben analizarse diversas opciones tecnológicas y se conocen los costos asociados a cada una. Sin embargo, los supuestos que se realizan para la minimización de costos pueden ser inapropiados para representar la evolución de los sistemas en el mundo real.

▪ **Modelos de Simulación y Equilibrio Parcial**

Este tipo de modelos simula el comportamiento de consumidores y productores bajo distintos tipos de señales (precios, niveles de ingreso) y restricciones (por ejemplo, límites en la tasa de reemplazo de stock). En esta categoría de modelos, los precios y cantidades se ajustan endógenamente utilizando cálculos iterativos para encontrar los precios de equilibrio. Luego, se iguala oferta y demanda a través de precios de equilibrio de mercado.

En este tipo de modelos es más fácil incluir factores no monetarios que en los modelos de optimización. Sin embargo, las relaciones de comportamiento pueden ser controversiales y difíciles de parametrizar.

▪ **Modelos de Uso Final o Contabilidad**

El enfoque de uso final intenta capturar el impacto de patrones de consumo de distintos sistemas y artefactos. Los modelos de uso final para demanda de electricidad se enfocan en los variados usos de sectores como residencial, comercial, agricultura, e industrial. Por ejemplo, en el sector residencial la electricidad se utiliza para cocinar, aire acondicionado, refrigeración, iluminación mientras que en el sector agrícola se usa para riego. Este tipo de modelos se basa en la premisa que la energía se requiere por el servicio que habilita y no como un bien de consumo final.

Este tipo de enfoque es especialmente efectivo cuando se introducen nuevas tecnologías y combustibles o cuando no existen series de tiempo adecuadas de tendencias en consumo y

otras variables. Sin embargo, este tipo enfoque suele requerir un alto nivel de detalle en usos finales.

- **Modelos Econométricos**

Estos métodos proyectan la relación entre elementos del sistema y puede incorporar elementos de proyecciones de tendencia. El enfoque econométrico se basa en el análisis de regresión de datos históricos y asume rigidez estructural de la economía.

Los métodos más simples en esta categoría son las de series de tiempo. En éstos se proyectan los elementos claves de un sistema (macro-variables) de manera independiente. Este tipo de construcción asume que el futuro será una extensión suave y continúa del pasado. Estas proyecciones se basan en correlaciones empíricas y funcionan bien en ausencia de cambios estructurales del sistema. La principal deficiencia de este tipo de construcciones es que no se ocupa de identificar o explicar los catalizadores y fuerzas que alteran el sistema.

- **Modelos de Equilibrio General Computable (CGE)**

Los modelos de equilibrio general son modelos multisectoriales que incorporan mecanismos de mercado en la asignación de recursos. Su modelación se desarrolla a través de una estructura Neo-Clásica, la que permite describir el comportamiento de los agentes. Difieren de los modelos de equilibrio parcial ya que consideran las interacciones de todos los sectores de la economía lo que permite analizar los efectos directos e indirectos.

Los modelos de CGE incorporan los precios en forma endógena, además permiten la sustitución entre los factores productivos por lo que son adecuados para realizar simulaciones de mediano y largo plazo. En O’Ryan et al. (2000) se señala que al integrar la perspectiva de mediano y largo plazo se pueden aplicar en la generación de estrategias de desarrollo asociadas a diversas sendas de crecimiento. También se pueden aplicar desde una perspectiva de corto plazo al análisis de problemas coyunturales y política de estabilización.

Estos modelos se preocupan de las consecuencias de políticas en términos de finanzas públicas, competitividad económica y empleo. Los modelos de CGE intentan representar la respuesta macroeconómica real a políticas, como la sustituibilidad de la energía por otros insumos de bienes de consumo.

- **Modelos de Desarrollo Reciente**

Este grupo considera aquellas metodologías que han sido desarrolladas a partir de la década de los 80, siendo hasta hoy en día un área de fuerte investigación. Lo anterior se explica principalmente producto del gran avance que ha sostenido la industria informática,

permitiendo incorporar algoritmos cada vez más complejos, manejando tiempos de cálculo razonables. Dentro de este grupo, las metodologías más importantes son:

-Sistemas expertos: Estos modelos intentan simular el razonamiento humano, a través de la incorporación del conocimiento experto, de tal manera de inferir en forma automatizada respuestas frente a casos específicos. Este tipo de metodologías han sido utilizadas satisfactoriamente tanto en estimaciones de corto como de largo plazo.

-Lógica difusa: Este tipo de metodologías está orientado a modelar las incertidumbres, expandiendo las capacidades de los algoritmos clásicos, que sólo permiten manejar atributos determinísticos. Para esto, se reconoce la existencia de grados de pertenencia, los que con un conjunto de reglas, permiten llevar a cabo procesos sobre variables inciertas.

-Redes Neuronales: Los modelos de redes neuronales intentan simular el proceso de razonamiento y aprendizaje humano, realizando un entrenamiento de forma iterativa y a través del uso de ejemplos o “patrones”. La gran ventaja que presenta este tipo de modelos es la capacidad de modelar relaciones no lineales, a través de un proceso autónomo, sin especificar a priori alguna forma funcional del modelo. Por el contrario, la desventaja que presentan es que es necesario disponer de una cantidad de datos suficiente, de tal manera que la red logre asimilar el modelo subyacente. Este tipo de metodologías ha sido ampliamente utilizada para estimaciones a corto plazo y se han realizado algunos análisis para estimaciones a largo plazo, aunque este último caso ha estado fuertemente restringido dada la poca disponibilidad de datos.

▪ Modelos Híbridos

Este tipo de modelos considera combinaciones entre los enfoques antes presentados. Existen distintas opciones, por ejemplo, enfoques que mezclan metodologías econométricas con otras de uso final. Existen modelos que funden métodos de simulación y optimización. El uso de enfoques híbridos suele recomendarse en la medida que las debilidades de un enfoque sean superadas por las fortalezas del otro creando sinergia.

2.4 Clasificación “bottom up” versus “top down”

La teoría económica dispone de distintas formas de analizar las relaciones entre consumos de energía y variables económicas como la producción y los precios. En este sentido existen metodológicos alternativos para analizar estas relaciones. En efecto, por un lado existe el enfoque más asociado a los modelos microeconómicos conocido como “bottom up”, que disponen de una fuerte base de ingeniería y en donde en muchos casos se especifican los requerimientos energéticos de equipos y maquinarias para determinar el consumo energético.

Por otro lado, existen los modelos económicos de corte más macroeconómico, que se conocen como “top-down”. En este último caso destacan los modelos de equilibrio general

computables que disponen de una importante consistencia con la teoría económica. También se cuenta con modelos de tipo econométricos que permiten incorporar de manera sistemática la información histórica disponible. El cuadro siguiente muestra comparativamente características de ambas categorías de modelos.

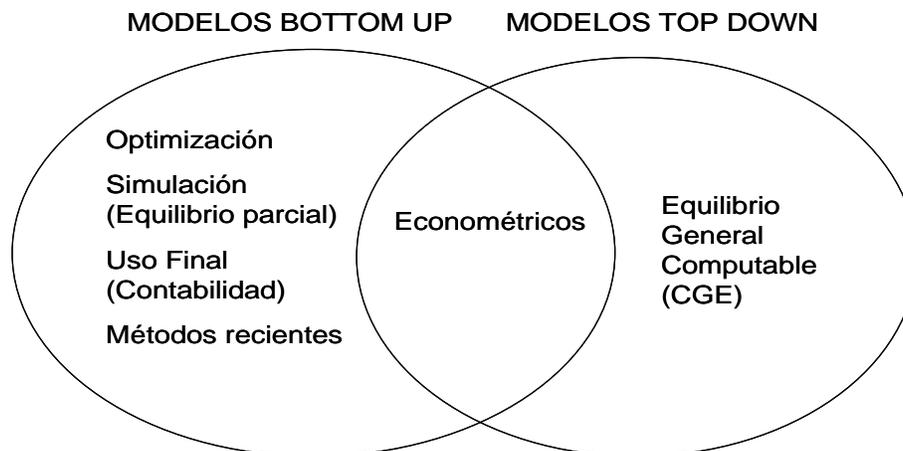
Cuadro 1. Comparación entre Modelos “Top-Down” y “Bottom-Up”

Top-down	Bottom-Up
Usa datos económicos agregados	Usa datos detallados en combustibles, tecnologías y políticas
Evalúa costos/beneficios a través de impactos en producción, ingreso, PIB	Evalúa costos/beneficios de tecnologías y políticas individuales
Generalmente asume eficiencia de mercados	No necesariamente asume eficiencia de mercados, sobrepasar barreras de mercado puede resultar en ahorros energéticos costo efectivos.
Captura retroalimentación e interacciones intersectoriales	Captura interacciones entre proyectos y políticas
No es un enfoque adecuado para examinar políticas tecnológicas específicas	Utilizado para evaluar costos y beneficios de programas

Fuente: Basado en United Nations Framework Convention on Climate Change, 2005.

La figura siguiente presenta los principales tipos de modelos según si son top-down o bottom-up. Se puede apreciar que los métodos econométricos pueden ser tanto bottom up o top down según el caso y la aplicación. En efecto, y a modo de ejemplo, es posible estimar consumos energéticos a nivel nacional o global (modelos top-down) o bien sectoriales o de una pequeña comunidad (bottom-up).

Figura 11. Presentación de Categorías Principales de Modelos Energéticos según clasificación “Top down” o “Bottom up”



Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Resumen de Categorías de Modelos

El cuadro siguiente muestra un resumen de los enfoques de modelos y su relación con los otros criterios de clasificación.

Cuadro 2. Resumen de Enfoques de Modelos

Metodologías	Horizonte Típico de Aplicación	Nivel de Agregación	Principio de Metodología	Ventajas/ Desventajas	Modelamiento Energético
Modelos Econométricos (Se incluyen modelos de series de tiempo y de curva logística)	Corto y Mediano Plazo (no responde a cambios estructurales)	Bottom Up/ Top Down	Métodos estadísticos	Ventajas: Simplicidad y facilidad de aplicación. Desventaja: Requerimientos de conjuntos consistentes de datos e incapacidad de incorporar cambios estructurales (como nuevas políticas).	Modelos de demanda, Curva de demanda y consumos.
Modelos de Uso Final/ Contabilidad	Mediano y largo Plazo	Bottom up	Foco en servicios que usan energía y luego en características tecnológicas que brindan los servicios energéticos.	Ventajas: Se incorporan fácilmente cambios tecnológicos anticipados. Desventajas: Requiere muchos detalle en información de uso final y no representa comportamiento de agentes.	Modelos de demanda, y sistemas. Consumos.
Optimización	Mediano y largo Plazo	Bottom up	Típicamente problema de optimización lineal restringida. Oferta debe satisfacer demanda energética exógena. Problema dual entrega valores de energéticos.	Ventajas: Especialmente útil cuando hay varias opciones tecnológicas. Consistente con análisis de backcasting. Desventajas: Supuestos de competencia perfecta, no simula comportamiento real de sistemas, modelos complejos y dato-intensivos.	Modelos de Oferta
Equilibrio Parcial y Simulación	Mediano y largo Plazo	Bottom up	Simula comportamiento de productores y consumidores ante señales (precios, ingresos, políticas). Típicamente usa enfoque iterativo para encontrar equilibrio de mercado. Precios de energía son endógenos.	Ventaja: No están limitados por supuestos de "comportamiento" óptimo y no asume que la energía es el único factor que afecta la decisión tecnológica. Desventajas: Complejos y dato intensivos, Relaciones de comportamiento pueden ser controversiales y de difícil parametrización.	Modelos de Sistema Energético
Modelos de Equilibrio General Computable	Mediano Plazo	Top Down	Los modelos de EGC intentan representar la respuesta macroeconómica real a políticas, como la sustituibilidad de la energía por otros insumos de bienes de consumo.	Las críticas a este tipo de modelos es que carecen de la flexibilidad tecnológica que ofrecen otro tipo de modelos.	Modelos de Sistema Energético

Metodologías	Horizonte Típico de Aplicación	Nivel de Agregación	Principio de Metodología	Ventajas/ Desventajas	Modelamiento Energético
Modelos de Desarrollo Reciente	Corto, Mediano y Largo Plazo	Bottom up	Son modelos asociados al desconocimiento del modelo de proceso, típicamente se emplean redes neuronales, sistemas expertos o sistemas fuzzy. Se realiza el entrenamiento (redes neuronales) o etiquetado (fuzzy) a través de datos. La calidad y vigencia de los datos es crucial para el buen funcionamiento de este tipo de modelos	Presentan buen desempeño en condiciones generales, pero no responden a cambios estructurales o tecnológicos. Su estabilidad y observabilidad no está asegurada.	Modelos de Sistema Energético

Fuente: Elaboración Propia.

2.6 Presentación de Principales Modelos Utilizados y sus Aplicaciones

Los principales modelos utilizados en la actualidad en América, Europa y Asia son: MARKAL, MARKAL-MACRO, ENPEP y LEAP, cada uno se ajusta a diferentes clasificaciones. Se analizará las características generales de cada uno de estos modelos y sus aplicaciones en diferentes países. Se hará también una breve descripción del modelo PERSEUS.

MARKAL y MARKAL-MACRO

Genera modelos de equilibrio energéticos y económicos. Calcula las cantidades y precios de equilibrio que maximizan la utilidad y además minimizan los costos totales del sistema de energía.

MARKAL identifica soluciones a la planificación del sistema de energía al menor costo y evalúa opciones en el contexto del sistema de energía tales como el balance entre oferta y demanda y restricciones de política ambiental. Selecciona tecnologías basado en los costos de las alternativas.

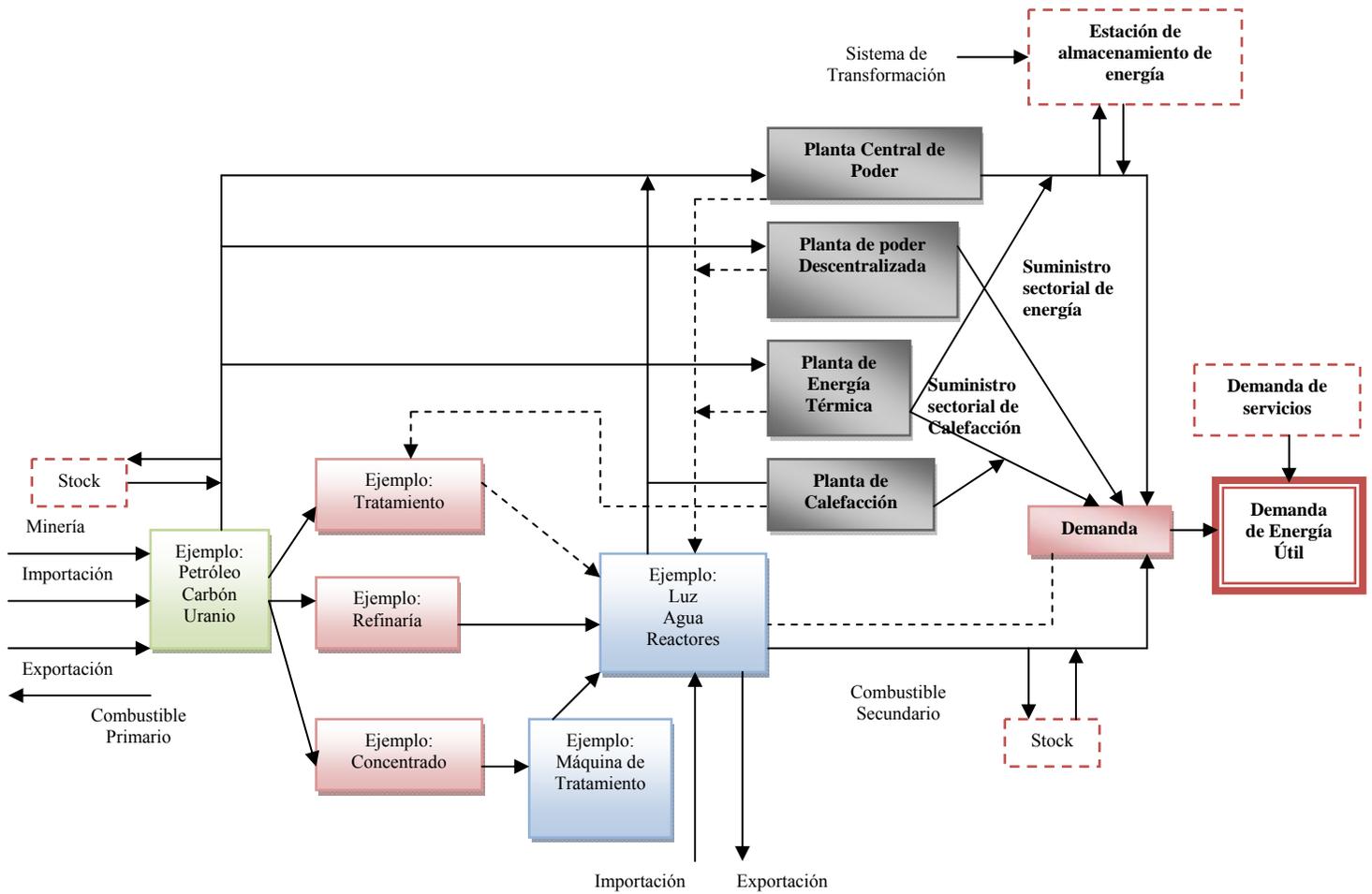
MARKAL calcula las cantidades y precios maximizando el excedente del productor/consumidor en el horizonte de planificación, por lo tanto, el costo total de energía del sistema.

Además provee estimaciones de precios de energía, demanda, GHG, tecnologías. En MARKAL la demanda no responde a precios y es determinada exógenamente. MARKAL ha sido utilizado en:

- International Energy Agency (IEA): “Detalles de tecnologías para los escenarios de World Energy Outlook”.
- Unión Europea. Modelo de 25 estados: “Estudio de externalidades y valoración de temas asociados al ciclo de vida”
- 6 estados de Nueva Inglaterra: Análisis de Aire limpio, metas y evidencia para el compromiso de cambio climático.
- USAID: Estableciendo un marco de referencia común para la evaluación de gestión de la demanda.
- APEC: Niveles de costo-efectividad de generación renovable en cuatro economías de la APEC.
- Bolivia: Estrategias de reducción de GHG, incluyendo un modelo de forestación como una opción de reducción de carbono.
- South Africa: Planificación energética y ambiental.

A continuación se presenta un esquematización del flujo energético en MARKAL:

Figura 12. Esquema de flujo energético en MARKAL



Fuente: Fei Teng 2007

El esquema de flujo de energía muestra las interrelaciones que se producen para llegar a la demanda final, primero considerando combustibles primarios y variable de stock, controlando por importaciones y exportaciones. Luego, combustibles secundarios y variable de stock, controlando por importaciones y exportaciones. Finalmente se encuentran los centros de transformación que satisfacen la demanda final.

MARKAL-MACRO es una extensión del modelo MARKAL y resuelve simultáneamente los sistemas de energía y economía.

MARKAL-MACRO es una mezcla entre modelos bottom-up y top-down. En este modelo la demanda responde a precios, es decir, la demanda es determinada endógenamente.

El modelo MARKAL-MACRO maximiza el bienestar del consumidor, optimiza la inversión agregada y provee la configuración del sistema de menor costo. Precios de energía y costos de energía son determinados simultáneamente durante la optimización. Los costos relativos de la energía determinan el tipo y nivel de sustitución de portadores energéticos y tecnologías.

MARKAL-MACRO ha sido utilizado en:

- INET: impacts of emission reductions on China's GDP with MARKAL-MACRO Model; Beijing's energy supply scenarios and possible impacts;
- SHESRI: responses of the energy system to energy structure adjustment policies in Shanghai
- Croacia: Institute Hrvoje Požar. Helena Božić. "ENERGY SYSTEM PLANNING ANALYSIS USING THE INTEGRATED ENERGY AND MACROECONOMY MODEL". Interdisciplinary Description of Complex Systems 5(1), 39-47, 2007

Limitaciones

- El modelo MARKAL es un modelo estrictamente de sector energético y no establece relaciones con otros sectores de la economía.
- La demanda es provista exógenamente por esto no responde a precios y no posee determinación de variables económicas endógenas que puedan realimentar el modelo.
- El modelo MARKAL-MACRO resuelve estos últimos inconvenientes, pero el modelo macroeconómico que incorpora es un modelo neoclásico y adopta una función de producción de elasticidad de sustitución constante (CES). El modelo resuelve para un consumidor representativo óptimo, donde todas las variables relevantes son agregadas.

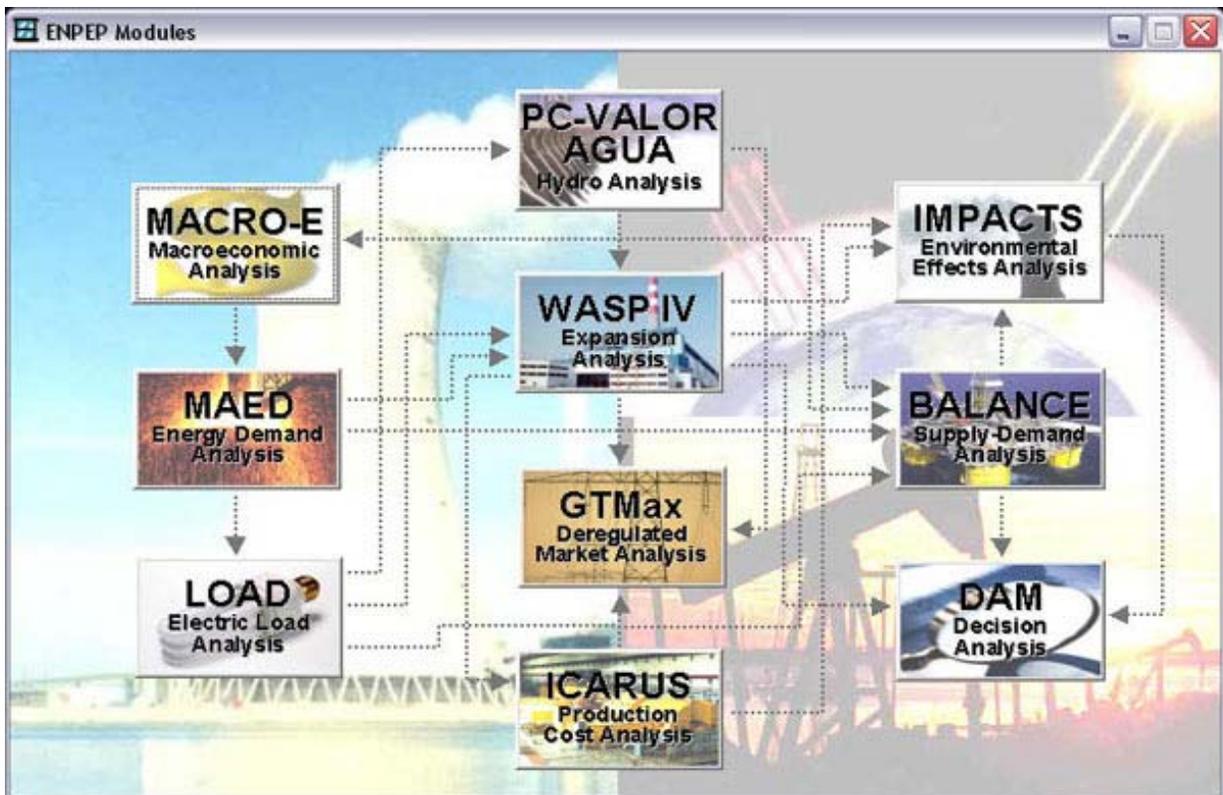
ENPEP

ENPEP es un conjunto de herramientas de análisis energéticas, ambientales y económicas integradas. ENPEP realiza análisis macroeconómico, desarrolla estimaciones de demanda de energía y sobre esta base se realiza análisis conjunto de oferta y demanda para todo el sistema energético. Se evalúa en detalle el sistema eléctrico y se determina efectos de configuraciones alternativas.

El foco energético está en 2 herramientas de ENPEP: BALANCE y MAED, respecto a MAED un análisis más detallado se presenta en otro apartado de este informe. BALANCE es un modelo de simulación basado en mercado que determina cómo varios segmentos del sistema de energía pueden responder a cambios en la demanda y precios de energía. Balance es un sistema de ecuaciones simultáneas, lineales y no lineales que especifican la cantidad de transformación de energía y precios a través de varios escenarios de producción y usos de energía. Este modelo también calcula emisiones gases efecto invernadero (GEI).

Junto con BALANCE y MAED, ENPEP posee otros ocho módulos que lo conforman, cuya interrelación se muestran en la siguiente figura:

Figura 13. Módulos de ENPEP



Fuente: CEEESA



Una breve descripción de cada módulo se hace a continuación:

MACRO-E: Este módulo realiza la retroalimentación entre el sector energético y el resto de la economía.

LOAD: Carga eléctrica horaria y generación de de curva de duración para usos de otros módulos de ENPEP

PC-VALORAGUA: Estrategia óptima de generación para un parque Hidro-térmico.

WASP: Alternativas de expansión de la generación a menor costo.

GTMax: Operación de Sistema Energético en Mercados Desregulados.

ICARUS: Confiabilidad y perspectiva económica de alternativas de expansión de la generación de electricidad.

IMPACTS: Daño físico y económico de la contaminación del aire.

DAM: Herramienta de análisis de decisión para evaluar tradeoffs entre aspectos técnicos, económicos y medioambientales.

ENPEP tiene numerosas aplicaciones en África, Asia, Europa, América y en OECD. En Sudamérica ha sido aplicado en los siguientes países:

COLOMBIA (MAED, WASP, BALANCE,IMPACTS, VALORAGUA)

- Análisis Energético Nacional
- Expansión de Gas Natural
- Desarrollo del Sistema Eléctrico

PERÚ (WASP, BALANCE, IMPACTS)

- Estimación de Demanda
- Expansión del Sistema Eléctrico
- Análisis de Polución
- Reducción de GHG

BRASIL (WASP, BALANCE,VALORAGUA, IMPACTS)

- Análisis Sector Energético
- Desarrollo del Sistema Eléctricot
- Análisis de Polución

URUGUAY (BALANCE, IMPACTS)

- Análisis del Sector Energético
- Penetración del Gas Natural en el Mercado



- Análisis de Reducción de GHG

Limitaciones

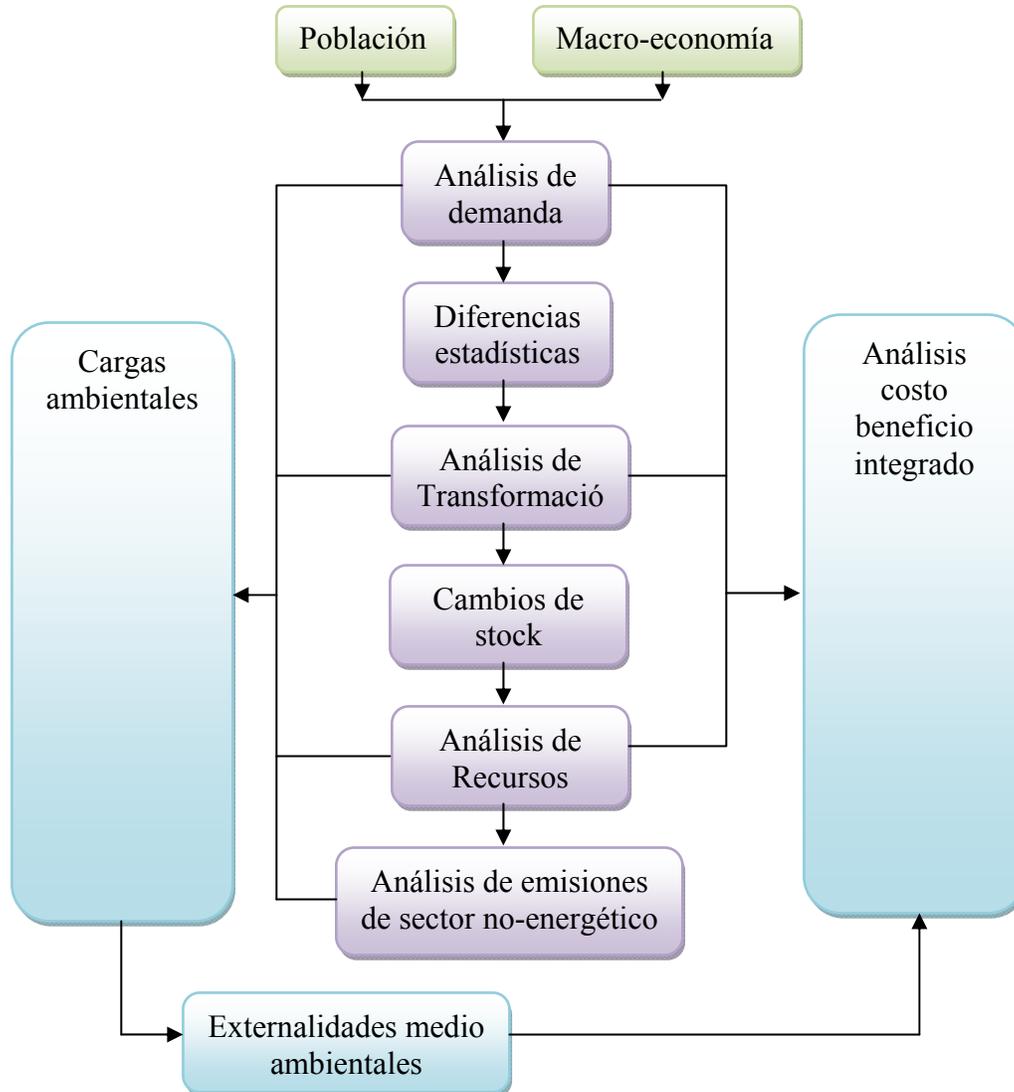
- El modelo ENPEP analiza planificación de sistemas desde el punto de vista del mínimo costo, lo cual no necesariamente refleja la realidad.
- La operación del programa requiere importantes conocimientos de optimización.
- Es muy intensivo en datos.

LEAP

Modelo de energías integradas asociadas a un año base y escenarios posibles, basados en contabilidad de flujos energéticos y simulación de modelos aproximados. LEAP tiene un manejo de datos flexible e intuitivo. Su ámbito de operación incluye: demanda, emisiones GHG, análisis de costo-beneficio social entre otros. LEAP es abordado más intensamente en otro apartado de este informe.

El LEAP al igual que otros modelos de simulación como el MAED, requieren de información demográfica y socioeconómica, tales como población e ingreso entre otros. En general, se analiza la demanda de diferentes sectores, subsectores y centros de transformación, se consideran variables de stock y se calcula efectos medioambientales y se evalúa costo-beneficio. Un esquema general del proceso de cálculo realizado por el LEAP se presenta en la siguiente figura:

Figura 14. Proceso de cálculo del LEAP



Fuente: Elaboración Propia

LEAP ha sido utilizado en:

- Estudios de reducción de gases efecto invernadero en: Argentina, Bolivia, Ecuador, Korea, Tanzania, Senegal.
- USA. Estudios de reducción de GHG en California, Washington, Oregon y Rhode Island.
- APERC Energy Outlook: Pronóstico de Demanda de Energía en Economías de la APEC.

- Proyectos Energéticos Asia del Este: Estudio de Seguridad Energética en Asia del Este.
- NDRC Energy Research Institute (ERI), INET and SHESRI
- ERI: Sustainable Energy Development Scenarios in China
- INET: China's energy system under future Northeast Asia cooperation scenario

Limitaciones

- El modelo LEAP no genera procesos de optimización o de equilibrio de mercados, pero puede ser usado para identificar escenarios de menor costo. Una ventaja importante del LEAP es su flexibilidad y su fácil utilización, el cual permite analizar distintas políticas sin complejidad adicional.
- El modelo LEAP no evalúa impactos sobre variables económicas como PIB o desempleo, el modelo LEAP es consistente físicamente pero no económicamente.

PERSEUS

PERSEUS (Programme Package for Emission Reduction Strategies in Energy Use and Supply) en un familia de modelos basados en los modelos EFOM-ENV (modelos de optimización dinámica que utilizan programación lineal) desarrollados en la Universidad de Karlsruhe, Alemania. Estos modelos están basados en programación lineal y entera mixta. Sus funciones objetivos consisten en la minimización del gasto de toda decisión relevante del sistema completo. Las restricciones económicas, técnicas y ecológicas son integradas en los modelos en una forma apropiada que capture las características reales del sistema de suministro de energía.

Es un modelo de análisis y planificación de políticas energéticas y ambientales

Requerimiento de datos

Este modelo tiene un horizonte de mediano y largo plazo

- Balance de energía en un año base
- Proyecciones de demanda de energía útil y precio de combustibles
- Inversión y costos de operación, disponibilidad y eficiencia de la producción de energía.
- Restricciones energéticas y ambientales
- Factores de emisión.
- Curva de de duración de demanda eléctrica.

Comparación de modelos para sector energético

El cuadro siguiente presenta un resumen de los modelos más utilizados en política energética internacional a juicio de Naciones Unidas.

Cuadro 3. Comparación de Modelos

Característica	LEAP	ENPEP	MARKAL	MARKAL-MACRO
Creador	Stockholm Environment Institute	IAEA	IEA/ETSAP	
Sitio web	www.energycommunity.org	www.dis.anl.gov	www.etsap.org	
Ámbito	Energías Integradas escenarios GHG	Energías Integradas, escenarios GHG	Energías Integradas, escenarios GHG	Energías-economía Integradas, escenarios GHG
Metodología				
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo modelo. • Algoritmo solución. • Previsión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contabilidad - Contabilidad - n/a 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulación equilibrio - Iteración - Miope 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimización - Prog. Lineal - Perfecta o miope 	<ul style="list-style-type: none"> - Híbrida - Prog. no lineal - Perfecta o miope
Aplicabilidad geográfica	Local, Nacional, Regional, Global	Local, Nacional, Regional, Global	Local, Nacional, Regional, Global	
Requerimiento de datos	Medio-bajo	Medio-alto	Medio-alto	
Datos incluidos (default)	Factores de emisión	Factores de emisión	Ninguno	
Horizonte de tiempo	Controlado, resultados anuales	Hasta 75 años, resultados anuales	Controlado	
Experticia requerida	Media	Alta	Alta	
Esfuerzo requerido	Medio-bajo	Alto	Alto	
Intuitivo	Alto	Bajo	Medio	
Manejo datos	Avanzado	Básico	Básico	
Requerimiento de software	Windows	Windows	Windows, GAMS, solver e interface	
Costos	Gratis para ONG, Gobierno, Investigadores	Gratis para ONG, Gobierno, Investigadores	US\$8.500-\$15.000	
Soporte técnico	Telefónico, e-mail, foros web. Gratuito (limitado)	Telefónico, e-mail. US\$10.000 por 80 hrs	Telefónico, e-mail. US\$500-\$2500 por un año	
Materiales de referencia	Manual y material de entrenamiento libre en la web	Manual disponible para usuarios registrados	Manual disponible para usuarios registrados	
Lenguajes	Español, Inglés, Francés Portugués, Chino.	Inglés	Inglés	

Fuente: Naciones Unidas

2.7 Conclusión

Distintos modelos energéticos cumplen distintos objetivos y se basan en fundamentos conceptuales diferentes. Dentro de las clasificaciones existen consideraciones temporales, espaciales, de propósito, enfoque metodológico y agregación. Cada tipo de modelo cuenta con virtudes y defectos, y la elección de un tipo de modelo depende de la pregunta de análisis. Sin embargo, existe consenso relativo respecto de las bondades de los enfoques híbridos ya que éstos permiten reducir los errores sistemáticos del uso de un enfoque único.

Existe una amplia gama de modelos energéticos de uso estratégico actualmente usándose en el mundo. De estos destaca el LEAP, un modelo del sistema general de energía y el modelo ENPEP, un modelo modular que captura el sistema energético de manera física, económica y ambiental. Son también muy conocidos los modelos de oferta como MARKAL y el WASP (módulo de ENPEP). Para demanda, los modelos más utilizados son MAED (módulo de ENPEP), y LEAP, que a pesar de no ser específicamente diseñado para proyección de consumo permite esa labor con relativa simpleza. Otros modelos que permiten caracterizar el consumo basándose en datos históricos son los econométricos que incorporan los cambios técnicos que han ocurrido en el tiempo explicando relaciones entre el consumo energético y variables económicas. A partir de lo anterior es posible proyectar escenarios futuros.

Debido a que este estudio está enfocado en analizar y proyectar el consumo futuro de combustibles se analizarán aquellos modelos que se enfocan en analizar con mayor detalle la demanda de combustibles. Por este motivo, en los siguientes capítulos, se analizan las principales características de los “Modelos Econométricos” y de “Series de Tiempo”, “Modelos de Uso Final”, “Enfoques Combinados o Híbridos” y “Análisis de Escenarios”. A partir de esta descripción se elige el modelo que mejor se aplique a la realidad nacional y a los objetivos del estudio.

3 Modelos de Estimación de Consumo de Largo Plazo

Los pronósticos energéticos se volvieron extremadamente populares tras los shocks de petróleo de la década de los setenta. Actualmente existen muchas alternativas para estimar demanda energética futura. En particular, para los sistemas eléctricos existen pronósticos incluso para unos pocos minutos a futuro. Otras estimaciones intentan proyectar consumos energéticos por más de 30 años llegando incluso al orden de siglos para estudios con propósitos de análisis de calentamiento global.

A pesar de la amplia gama de alternativas, esta sección se centra en aquellas metodologías que permiten prever la demanda energética de largo plazo. Por otra parte, esta sección también se limita a aquellas metodologías que permiten estimar la demanda globalmente y eventualmente realizar desagregación sectorial de los consumos. Finalmente, esta sección se centra solo en aquellas opciones que tienen como fin exclusivo el pronóstico de consumos energéticos futuros.

Las metodologías de pronóstico de demanda de largo plazo más utilizadas son de las siguientes categorías: proyecciones de series de tiempo y econométricas, análisis de uso final, enfoques de dinámica de sistemas, enfoques combinados, y análisis de escenarios. Cada enfoque refleja una cierta visión revelada en supuestos y permiten estimar consumos multienergéticos de largo plazo (Craig et al, 2002). Para los modelos de dinámicas de sistemas⁴ no existe mucha experiencia en política energética y típicamente son aplicables en niveles de mucha agregación y abstracción por lo que no se incluyen en detalle.

3.1 Tipos de Modelos para Pronosticar Consumos Energéticos de Largo Plazo

En esta sección se presentan las principales metodologías utilizadas para la estimación de demanda de largo plazo.

Modelos Econométricos

La literatura energética suele distinguir entre los modelos econométricos y series de tiempo⁵. Los modelos econométricos suelen basarse en el ajuste entre una variable

⁴ La dinámica de sistemas modela los sistemas de ingeniería, sociales, y económicos como combinaciones de reservas (baldes) que se acumulan y evacúan cantidades de interés (como la energía, población, y dinero). Las trayectorias de flujo suelen representar procesos de tasa no-lineal y relacionan las reservas creando ciclos de retroalimentación que definen un conjunto de ecuaciones diferenciales acopladas. Esta técnica de modelación hace énfasis en la dinámica e identificación de variables fuerzas conductoras (“driving forces”). Una vez que es modelo está definido, se varían parámetros y fuerzas conductoras.

⁵ Al contrario, en la literatura económica suelen considerarse las técnicas de series de tiempo un subconjunto de las econométricas.

independiente (consumo de energía, combustible, electricidad) y variables independientes (tiempo, precios, indicador de actividad económica, etc.). Se acepta que la estructura de la relación obtenida no se modificará en el futuro.

Para predicciones energéticas, las variables que normalmente son consideradas son de tipo meteorológico para estimar electricidad a corto plazo, pero para el caso de largo plazo suelen considerarse variables como producto interno bruto, índices de actividad, ingresos familiares, precios de los combustibles y sus sustitutos, precios de equipos, datos demográficos, variables mudas, entre otras.

Por ejemplo, la demanda eléctrica puede considerarse dependiente del precio de la electricidad (P_e), ingreso (y), precio de combustibles relacionados (P_o), población (POB) y tecnología (T). Es decir,

$$DE = f(y, P_e, P_o, POB, T)$$

Para llevar a cabo el ajuste, es necesario especificar la forma funcional del modelo, el que puede ser lineal o no lineal. Para determinar esta especificación, la formulación puede venir de modelos teóricos (por ejemplo, económicos) o bien, de planteamientos intuitivos de los analistas. Las predicciones realizadas mediante el modelo requieren estimar la evolución futura de las variables explicativas.

Una variante de los modelos econométricos es la categoría de estimación de participación de combustibles. Ésta considera un enfoque de dos etapas para estimar demandas energéticas. Primero, se estima el consumo total de energía de un sector, el cual después es utilizado en la determinación de participaciones de distintos combustibles. Estas participaciones vienen definidas como razones entre consumos de un combustible individual y el consumo energético total.

Finalmente, es importante destacar que los métodos econométricos son la única alternativa de obtener de curva de demanda en vez de solo pronósticos de consumos.

Modelos de Series de Tiempo

La forma más simple de realizar un pronóstico consiste en asumir que el futuro es una extensión suave del pasado. Las variables clave se identifican y son descritas en términos de tendencias temporales o de correlaciones con otras variables.

En esta clase de modelos se encuentran también metodologías que consideran un modelamiento matemático exhaustivo de la serie histórica. Las tres categorías de series de tiempo más conocidas son los Modelos Autoregresivos (AR), Modelos Autoregresivos y de Medias Móviles (ARMA) y Modelos Autoregresivos Integrados y de Medias Móviles

(ARIMA). La formulación básica asociada a cada una de ellos se resume en las siguientes expresiones:

$$AR: \quad \phi(B) \cdot y(t) = e(t)$$

$$ARMA: \quad \phi(B) \cdot y(t) = \theta(B) \cdot e(t)$$

$$ARIMA: \quad \phi(B) \cdot \Delta^n y(t) = \theta(B) \cdot e(t)$$

En donde B corresponde al operador de desplazamiento temporal (operador de rezago), y es la serie estudiada (consumo), e el error o ruido existente, Δ corresponde al operador de diferenciación y θ y Φ son polinomios en función de B . El ajuste del modelo consiste en encontrar los coeficientes asociados a estos dos últimos polinomios, hasta comprobar que los errores siguen una serie aleatoria. Este tipo de metodologías han sido usadas satisfactoriamente para estimaciones a corto plazo.

Una variante de los métodos de series de tiempo es la co-integración. Este método intenta superar algunas de las limitaciones de los pronósticos econométricos o de series de tiempo. El concepto principal es que la relación existente entre dos variables puede seguir un patrón o tendencia en el largo plazo. En efecto, se observa que algunas variables económicas se comportan de manera similar en el largo plazo. Por ejemplo, el PIB per. capita y el consumo siguen en el largo plazo un patrón similar de consumo. En este caso, se dice que ambas series están co-integradas. La ecuación de largo plazo que captura la relación entre las variables se conoce como vector de co-integración.

Si dos series están co-integradas, el proceso de construcción del modelo requiere del uso de un sistema de ecuaciones como en contra de una única ecuación (de un modelo de series de tiempo o econométrico). Adicionalmente, también se incluye un término adicional conocido como “término de corrección de error” para considerar los efectos de largo plazo, mientras que los efectos de corto plazo se capturan por el vector de co-integración.

Modelos de Uso Final

El método de uso final o contabilidad intenta capturar los impactos que tienen los patrones de usos energéticos de artefactos y sistemas. Los modelos de uso-final para demanda energética se enfocan en varios usos en los sectores residencial, comercial, agricultura, e industriales. Por ejemplo, en el sector de residencial la electricidad se utiliza para iluminación, refrigeración, aire acondicionado y para usos de cocina.

Los análisis de uso final suelen requerir medidas de las intensidades energéticas (I) de los usos como medidas de niveles de actividad (NA). De esta manera, la relación básica que estima el consumo energético es:

$$E = I \cdot NA$$

Por ejemplo, la relación siguiente define una relación típica de uso eléctrico final para un sector:

$$E = S \cdot N \cdot P \cdot H$$

Donde E es consumo de energía del uso (en KCal, kWh, etc), S el nivel de penetración del número de tales artefactos por consumidor, N el número de consumidores, P la potencia requerida por el artefacto, y H las horas de aplicación medias del artefacto por individuo.

Este análisis agregado por los distintos usos finales de un sector entrega la energía total demandada por el sector. El análisis también puede agregarse para todos los sectores y es posible desagregar o agregar distintos combustibles.

Este tipo de métodos puede incorporar mejoras de eficiencia energética, tasa de utilización, sustitución de combustibles. En el proceso el enfoque captura implícitamente los precios, ingreso y otros efectos económicos y de política.

En esta sección se presenta una revisión general respecto de las metodologías existentes para evaluar políticas energéticas de largo plazo. En particular, se explica qué se entiende por escenarios y la aplicabilidad de éstos en análisis energético de largo plazo. Luego, se distingue entre escenarios normativos y exploratorios. Finalmente, se presentan distintos enfoques metodológicos y modelos formales disponibles para la construcción de escenarios.

Enfoques Combinados o Híbridos

Los modelos híbridos corresponden a combinaciones entre las metodologías antes descritas. Destacan enfoques en que se combinan métodos de regresión y series de tiempo cuando las tendencias parecen robustas con análisis de uso-final. Este tipo de enfoque se usa cada vez más tanto en las industrias como gobierno.

Mucha literatura recomienda el uso de este enfoque. Esto porque un modelo híbrido de estas características permite integrar tanto los aspectos físicos como económicos (y potencialmente de comportamiento) en un marco común. Por ejemplo, mientras las relaciones econométricas internalizan los efectos de precios, ingresos o políticas, el enfoque de uso final otorga un marco de agregación tanto de uso final como sectorial. El enfoque de uso final acomoda nuevos usos finales, mezclas alternativas de combustibles, penetración de artefactos y tecnologías, patrón de crecimiento de la producción física o su valor, la población y la distribución del ingreso entre segmentos.

Análisis de Escenarios

A pesar de no ser el análisis un método particular de pronóstico de demanda se considera por su utilidad para tal propósito como se considera generalmente en la literatura. (Craig et al, 2002).

La evaluación de sistemas energéticos de largo plazo y de emisiones de gases efecto invernadero suele realizarse mediante la construcción de escenarios. Este tipo de ejercicio puede llevarse a cabo en distintas escalas y considerando horizontes temporales diferentes. Sin embargo, en general para su construcción se requiere integrar fenómenos de largo plazo (incluyendo demográficos, tecnológicos o tendencias de ecosistemas) con otros de corto plazo (como pueden ser la inflación o un shock en los precios del petróleo). Según Anderberg (1989), la crisis de petróleo de 1973 vuelve el término de escenario más popular la evaluación de políticas energéticas.

Las definiciones de escenarios no tienen relación directa con predicciones ni proyecciones. Esto porque el uso de escenarios es radicalmente distinto de la idea tradicional de predicción económica. Esto porque los escenarios intentan mostrar imágenes alternativas del futuro y no proyectar tendencias del pasado. Una de las características más útiles de los escenarios es que están diseñados explícitamente para explorar cambios importantes en las tendencias, quiebres en el sistema y cambios mayores en el comportamiento humano o reglas institucionales (variables que no es posible predecir o proyectar). Esta es una forma usual de incorporar la incertidumbre.

Expertos han dado diversas definiciones y comentarios respecto del uso de escenarios, y en particular aplicados al análisis de sistemas energéticos de largo plazo. Entre estas consideraciones destacan las siguientes:

“Al diseñar escenarios nos creamos imágenes del futuro, o mejor de futuros alternativos. Los escenarios no son predicciones ni proyecciones. En vez, cada escenario es una imagen alternativa de cómo podría desenvolverse el futuro. Cada uno se basa en un conjunto... de supuestos acerca de las relaciones claves y de los catalizadores de cambios derivados de nuestro entendimiento de la historia y la situación actual... La mayoría de los escenarios realizan un supuesto particular acerca del futuro: La ausencia de discontinuidades mayores y catástrofes. Estas no solo son inherentemente difíciles de anticipar, pero también ofrecen poca guía de política en la administración de una transición ordenada desde el sistema energético de hoy, basado en combustibles fósiles, hacia un sistema más sustentable con acceso más equitativo a los servicios energéticos...” [IIASA, WEC 1995]

“La evolución futura del mundo es formulada en lo que se conoce como escenario, un tipo de cuento corto de futuros posibles” [Ygdrasil et al., 1989]

“Los escenarios pueden ayudar a mejorar el entendimiento de las relaciones clave entre los factores que determinan las emisiones futuras. Los resultados de los escenarios no son predicciones del futuro, y no debieran utilizarse como tales; éstos ilustran el efecto de una gama amplia de supuestos económicos, demográficos y de política. Estos son inherentemente controversiales porque reflejan distintas posturas acerca del futuro.” [IPCC, 1992]

Refiriéndose a escenarios la IPCC señala que éstos “...no son predicciones, sino que construcciones consistentes que indican qué podría lograrse al seguir estrategias técnicas particulares. Estas trayectorias alternativas hacia el futuro energético debieran considerarse como “experimentos de pensamiento” explorando las posibilidades de conseguir reducciones de emisiones profundas... Más aún, podrían existir otras trayectorias factibles que pudiesen llevar a reducciones de emisiones comparables.” [IPCC, 1996]

En conclusión, enfrentados a la imposibilidad científica de predecir el desarrollo futuro de sistemas socio-técnicos complejos, como los sistemas energéticos, y la necesidad práctica de restringir el campo de eventos futuros posibles o de anticipación para mejorar las decisiones presentes, la construcción de escenarios es la mejor alternativa que han encontrado los expertos (IPP Report No. 16/13).

El tipo de escenario más común se asocia a escenarios de referencia de tipo proyectivos. Éstos asumen la continuación de las tendencias históricas del futuro y que la estructura del sistema permanece invariante o responde de formas predeterminadas. Este tipo de escenario suele conocerse como escenario base (BAU por las siglas en inglés de “business as usual”). Estas construcciones parecen razonables solo en proyecciones de corto y mediano plazo porque en el largo plazo variables como el desarrollo tecnológico, la apertura de los mercados, las estructuras sociales o percepciones ambientales son poco predecibles. Sin embargo, en análisis sobre periodos de más de 30 o 50 años estos son los factores determinantes. Por lo tanto, en el largo plazo, suele ser riesgoso solo centrarse en escenarios BAU basándose solo en proyecciones tendenciales (IPP Report No. 16/13).

Por el contrario, los escenarios exploratorios están diseñados para explorar configuraciones posibles del mundo en el futuro. El propósito es la identificación de las estrategias más robustas en cuanto al propósito de la exploración a través de distintos escenarios. La ventaja del uso de estos escenarios permite analizar desviaciones de las tendencias presentes.

Los escenarios normativos pueden diseñarse sobre la base un conjunto de atributos deseables (o “reglas”) que debería tener el mundo en el futuro. Este tipo de escenario se orienta específicamente a propósitos regulatorios y se suelen construir “futuros deseables”. Este tipo de escenario es útil para diseñar mecanismos que permitan alcanzar estos estados deseables desde el presente.

En la práctica, suelen utilizarse escenarios exploratorios pero haciendo referencia a consideraciones normativas. Lo importante es recordar que la función de los escenarios es ayudar a explorar las incertidumbres principales asociadas a los sistemas energéticos futuros y explicitarlas. Así, al cuantificar modelos específicos en los escenarios, no se debe confundir el ejercicio con un falso sentido de precisión predictiva (IPP Report No. 16/13).

3.2 Resumen de Metodologías Usuales de Proyección de Demanda

El cuadro siguiente presenta un cuadro con las ventajas, desventajas y requerimientos de información generales de cada tipo de metodología. Este cuadro incluye el análisis de escenarios que puede utilizarse conjuntamente con las distintas metodologías e incluso híbridos.

Cuadro 4. Ventajas, Desventajas y Requerimientos de Información de Metodologías de Proyección de Demanda

Metodología	Ventajas	Desventajas	Requerimientos de Información Típicos
Tendenciales (Series de Tiempo)	Útil para predicciones de tipo BAU.	No considera "driving forces" No incluyen causalidad y no pueden identificar cuando surgen contradicciones.	Series históricas sociales, demográficas, económicas, etc. Por ejemplo: PIB, Población, consumos, etc.
Econométricas	Especialmente útiles en el corto y mediano plazo.	No captura cambios estructurales. Según expertos este método no necesariamente resulta en mejores predicciones que las tendenciales (Huss, 1985)	Series históricas sociales, demográficas, económicas, etc. Por ejemplo: PIB, Población, consumo, etc.
Análisis de Uso Final	Fácil de incorporar cambios tecnológicos anticipados. Permite capturar efectos de saturación. Permite distintos niveles de agregación.	Puede llevar a pronósticos de demanda mecánicos sin referencia alguna al comportamiento óptimo de los agentes ni variaciones en patrones de consumo debido a cambios demográficos, económicos o culturales.	Intensivo en datos. Requiere consumos energéticos sectoriales, desagregados tanto como sea posible, en general, los sectores desagregados en subsectores representativos con datos de diferentes tipos de consumos.
Enfoques Combinados/Híbridos	Permite incluir en las estimaciones las inquietudes de ingenieros y economistas		Intensivo en datos. Consumos sectoriales desagregados y series de datos que sustenten el análisis econométrico.

Análisis de Escenarios	Los supuestos quedan explícitos (transparencia)	Escenarios son débiles cuando se asume que los "drivers" claves del análisis permanecen inalterados en forma indefinida	Intensivo en datos. Requiere consumos energéticos sectoriales, desagregados tanto como sea posible, en general, los sectores desagregados en subsectores representativos con datos de diferentes tipos de consumos.
------------------------	---	---	---

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Visión integrada de los modelos

En este punto se analizan las características comunes y las diferencias asociadas a los mecanismos de estimación y modelación del consumo energético. En particular se comparan dos tipos de modelos, los econométricos (incluyendo series de tiempo) y los de uso final. Se usará el caso del sector transporte para ilustrar las diferencias aunque es igualmente válido para otros sectores.

El consumo de un energético específico para un grupo de fuentes tecnológicamente similares, se puede representar genéricamente a través de la siguiente relación:

$$C = P * NA * cu$$

Donde C es el consumo de combustible, P es el número de fuentes (para empresas o parque automotor para el transporte), NA es el nivel de actividad promedio de ese parque y cu es el consumo unitario de combustible. Por ejemplo, para calcular el consumo de Diesel del sector de transporte, P representa el número de vehículos, NA los kilómetros promedio recorridos por los vehículos y cu el consumo unitario expresado en litros por kilómetro recorrido.

Además, el consumo de un determinado energético para cada sector (i) puede ser desagregado para cada subsector (j). Cada subsector puede poseer distintas tecnologías asociadas a su proceso productivo (k) lo que se asocia a distintas intensidades en el uso de energéticos, además estas características van cambiando en el tiempo (t). Al hacer esta distinción el consumo de un determinado energético en el año t queda definido como:

$$\sum_{jk} C_{k,t}^{i,j} = \sum_{jk} (P_{k,t}^{i,j} * NA_{k,t}^{i,j} * cu_{k,t}^{i,j})$$

En este caso, por ejemplo para el sector transporte (i) en el periodo t, cada j corresponde a un modo que utiliza diesel (buses, camiones, vehículos livianos y comerciales, vehículos

fuera de ruta) .El subíndice k denota las tecnologías, por ejemplo si son Euro 1 o Euro 2, catalíticos o no, antiguos o nuevos.

Un modelo de uso final permite distintos niveles de agregación y dependiendo de la disponibilidad de datos es factible llegar a la unidad más básica de agregación. Además, tiene una estructura que permite asociar los consumos de combustible a variables intuitiva y cercanamente relacionadas con los consumos de combustible. En efecto, el consumo de un determinado energético para cada año t, tecnología k, subsector (o modo) j y sector i queda determinado por:

$$C_{k,t}^{i,j} = P_{k,t}^{i,j} * NA_{k,t}^{i,j} * cu_{k,t}^{i,j}$$

Por ejemplo, $C_{k,t}^{i,j}$ podría representar el consumo de diesel, del subsector vehículos comerciales del sector transporte, para tecnologías Euro 3, en el año t.

Así, es posible caracterizar para cada combustible las distintas tecnologías asociadas a los diferentes subsectores y su evolución en el tiempo por medio de $cu_{k,t}^{i,j}$. Además permite incorporar pronósticos de demanda considerando cambios en $P_{k,t}^{i,j}$ y en $NA_{k,t}^{i,j}$, de manera separada. Se requiere por tanto proyectar estas variables en el tiempo, utilizando métodos econométricos combinados con opinión experta⁶. Por lo general, no se incorpora en este análisis un comportamiento óptimo de los agentes.

Este enfoque permite un nivel de desagregación muy amplio, y los requerimientos de información se pueden transformar rápidamente en inmanejables. El alcance de la desagregación depende de las preguntas que se busque responder con el modelo y requiere un delicado equilibrio con la información disponible para proyectar cada variable. Es especialmente útil si se esperan cambios estructurales en sectores que no se capturan por medio de los modelos econométricos o si se busca evaluar políticas que afectan la adopción de ciertas tecnologías.

Con este enfoque, los cambios tecnológicos esperados se incorporan de manera directa en cada subsector. Las sustituciones futuras entre energéticos en cada subsector se obtienen al hacer el análisis anterior para todos los energéticos utilizables en el mismo para cada tecnología.

⁶ Por ejemplo se debe especificar la penetración esperada cada año de determinada tecnología, o variaciones en el nivel de actividad. Ambos pueden ser a su vez función de otras variables, por ejemplo el nivel de ingresos y/o precios relativos de los energéticos o tecnologías.

Por otro lado los modelos econométricos permiten un análisis a escala mayor, utilizando variables más agregadas y menos intuitivamente relacionadas con cada tecnología. En efecto, es común estimar conjuntamente el parque y su nivel de actividad, por medio de una variable más agregada de nivel de producción: $NP = P * NA$.

Se puede además considerar una tecnología promedio con lo cual la estimación se puede realizar para un subsector, sin diferenciar por tecnología. Una expresión simple podría ser, por ejemplo:

$$\overline{cu}_t^{i,j} = \frac{\sum_k^K (cu_{k,t}^{i,j})}{K}$$

Adicionalmente, puede no interesar considerar los consumos para cada tecnología específica, en cuyo caso $\sum_k NP_{k,t}^{i,j} = NP_t^{i,j}$ se puede considerar como una variable del nivel de actividad del subsector para cada periodo, sin especificar tecnología. En consecuencia, el consumo de un determinado energético en t quedaría:

$$C_t = \sum_{i,j} cu_t^{i,j} * NP_t^{i,j}$$

Como resultado, para cada subsector i es necesario especificar un nivel de producción $NP_t^{i,j}$ en el periodo t y relacionarlo con un coeficiente unitario promedio para ese periodo.

Aquí el enfoque econométrico se distancia más del de uso final. Es común no disponer de antecedentes respecto del coeficiente unitario promedio para el futuro. Por eso, en este enfoque se hacen regresiones que relacionan el consumo de combustible del subsector pasado, con el nivel de producción. Esta especificación puede ser más, o menos compleja, por ejemplo:

$$C_j = \alpha + \sum_i \beta^{i,j} * NP_t^{i,j}$$

Donde C_j y $NP_t^{i,j}$ pueden ser en nivel o logaritmo.

Esto permite determinar, a partir de la historia, los coeficientes que luego se utilizan para proyectar el consumo de combustible para los futuros niveles de producción para cada sector. El coeficiente obtenido puede o no ser dependiente del tiempo, reflejando un cambio tecnológico autónomo, lo que quedará reflejado en el valor de β .

Por cierto, este coeficiente incorpora implícitamente los cambios tecnológicos y la sustitución entre energéticos habidos en el periodo para los cuales hay datos. Con ello el coeficiente se aleja de tener una interpretación relacionada muy estrechamente con una determinada tecnología, como es el caso en el enfoque de uso final. Si no se esperan cambios en estas tendencias, esta aproximación puede considerarse apropiada, y tiene la ventaja de no exigir disponer de muchos datos tecnológicos.

Por otra parte, es común no disponer de información sobre el nivel de producción futuro de un subsector, y muchas veces ni siquiera del pasado. Por ejemplo, los vehículo/km que circulará un determinado modo de transporte, o algún indicador de actividad para el sector industrias y minas varias. En estos casos, se requiere usar alguna variable que se correlacione bien con el nivel de producción (proxy). Por ejemplo, el parque automotor y el PIB respectivamente. Al hacer regresiones entre esta variable y el consumo de combustible para los periodos con información se obtiene una expresión que puede permitir proyectar este consumo a futuro. Por ejemplo:

$$C_j = \alpha' + \sum_i \beta^{i,j} * Parque^{i,j}$$

En estos casos, los parámetros α' y β' se alejan aun más de una interpretación intuitiva directamente asociada a la tecnología. Incorporan además una serie de cambios tecnológicos y sustituciones entre combustibles pasadas. Además pueden correlacionarse con otras variables omitidas en el análisis, lo que puede hacer espúrea la estimación.

En la medida que haya una correlación fuerte entre las proxy y el consumo de combustible, se podrá hacer proyecciones razonables de su consumo futuro. Los métodos econométricos permiten establecer si las correlaciones obtenidas son aceptables.

Si no se esperan cambios tecnológicos o sustituciones diferentes a los observados en la historia, y si las correlaciones resultan aceptables, el método econométrico permite una aproximación razonable al consumo energético futuro. Si bien esta, metodología no entrega un gran nivel de detalle como el caso de un modelo de uso final, permite trabajar en forma consistente con variables económicas ligadas al nivel de producción. Además permite proyectar de manera simple en función de datos del pasado, tendencias de mediano y largo plazo. Es débil para proyectar el impacto de políticas que puedan afectar la tendencia tecnológica o de sustitución.

C. MODELO DE ESTIMACION DE CONSUMO ENERGETICO PARA CHILE

1 Introducción

En este capítulo se presentan las características deseables de un modelo de consumo energético para Chile, a partir de los requerimientos declarados por la CNE. En base a estos requerimientos, los datos disponibles y las características de los diversos modelos explicados en el capítulo anterior se propone un enfoque de modelación para la estimación del consumo energético en Chile. Finalmente se presentan los modelos específicos por sector y los consumos esperados totales de cada energético en el periodo 2008-2030. En función de estos requerimientos y de la literatura analizada se utilizarán los modelos de uso final y los modelos econométricos.

En el primer punto de este capítulo se describen los principales criterios utilizados para seleccionar un modelo de estimación de consumo de largo plazo, donde se describen los principales usos y su relación con variables macro energéticas y ambientales. Además los modelos seleccionados deben permitir el cálculo de la capacidad de potencia eléctrica instalada. Otro tema relevante para la elección de un modelo, independiente de sus características, se asocia a la disponibilidad y calidad de los datos que utiliza. En particular se espera que las variables explicativas del modelo seleccionado puedan ser proyectadas de manera robusta.

El segundo punto tratado en este capítulo se asocia a la descripción y metodología de selección de un modelo de proyección de consumo energético de largo plazo. Aquí se describe la propuesta general del modelo, los sectores considerados y el modelo elegido en cada sector. Cada modelo es desarrollado dependiendo de las características sectoriales que incorporan diferentes tecnologías de uso de energéticos y diversas opciones de sustitución.

Finalmente se presentan los consumos energéticos agregados y sus proyecciones de largo plazo.

2 Criterios para Seleccionar un Modelo de Estimación de Consumo de Largo Plazo

En este punto se describen los principales criterios utilizados para seleccionar un modelo de estimación de consumo de largo plazo. Se seleccionará un modelo basándose en cómo sus características responden a las necesidades del usuario y cómo la disponibilidad y calidad de los datos puede permitir proyectar el consumo futuro de manera robusta.

2.1 Requerimiento de propósito

El modelo seleccionado para Chile debe permitir evaluar para un horizonte de largo plazo que permita incorporar distintos tipos de políticas macro energéticas y ambientales en Chile. También es necesario que el modelo seleccionado para Chile entregue los insumos necesarios para determinar la capacidad de potencia eléctrica instalada. Es importante la determinación del factor de carga asociada a los requerimientos de energía en las horas de demanda punta ya que permite planificar la oferta de largo plazo.

El modelo de proyección de demanda debe poder estimar los consumos energéticos tanto de electricidad como de los distintos combustibles en el largo plazo (hasta el 2030). Para tal propósito se debe acotar y definir el alcance del modelo, las metodologías a aplicar y los niveles de desagregación deseados. El desafío principal de los modelos de energía es representar diversas políticas y sus impactos en las proyecciones.

Las consideraciones generales para el diseño del modelo de demanda para Chile se debe basar en su facilidad de operación y actualización, que sus variables explicativas sean simples en términos de su construcción y de la intuición asociada a ellas. Otro punto a considerar es que exista disponibilidad de datos y que estos sean actualizables periódicamente. Este modelo debe ser sensible al PIB y a variables críticas de cada sector. Además debe estar basado en la mejor información experta y estadística disponible.

La proyección de escenarios de largo plazo permite abordar la incertidumbre a través de la planificación estratégica. Además, permite analizar los efectos generados por políticas de gobierno sobre los escenarios futuros.

Por ejemplo, las decisiones de inversión en plantas energéticas, aislamiento térmico en hogares o el recambio de artefactos poco eficientes dependen de supuestos sobre la demanda energética futura. Otro tema asociado a las decisiones de largo plazo es el análisis de los efectos ambientales. En particular el análisis de cambio climático es desarrollado utilizando modelos de proyección de consumo energético de largo plazo. (Tosato, 2007)

Las características buscadas por la CNE para proyectar el consumo energético son:

- Que los modelos permitan proyectar el consumo de largo plazo.
- Que sea un modelo que identifique los consumos sectoriales.
- Que permita proyectar el consumo desde una perspectiva multi energética.
- Que permita proyectar una demanda eléctrica compatible con una separación SIC SING.
- Que sea sensible a parámetros claves.
- Que considere aspectos de incertidumbre y variabilidad.

Considerando los puntos anteriores es posible partir con un modelo econométrico simple para Chile que permite considerar los siguientes 7 puntos.

- Permite desarrollar un análisis de largo plazo para distintos tipos de energéticos y sectores.
- Entrega la demanda eléctrica anual que puede transformarse en una curva de carga siguiendo distintos métodos (explicados en el capítulo D).
- Estos modelos pueden incorporar al PIB y producciones sectoriales relevantes (como en Cobre y Celulosa) como otras variables explicativas por lo que se pueden adaptar a cambios en ellas.
- Este modelo permite desarrollar análisis de escenarios basados en crecimiento económico y de ciertos sectores específicos.
- No incorpora cambios tecnológicos ni en precios en forma explícita. Sin embargo si asume implícitamente cambios similares a los del pasado.
- No incorpora desagregación geográfica.
- Permite desarrollar un análisis rápido del impacto de variables macroeconómicas sobre los consumos agregados.

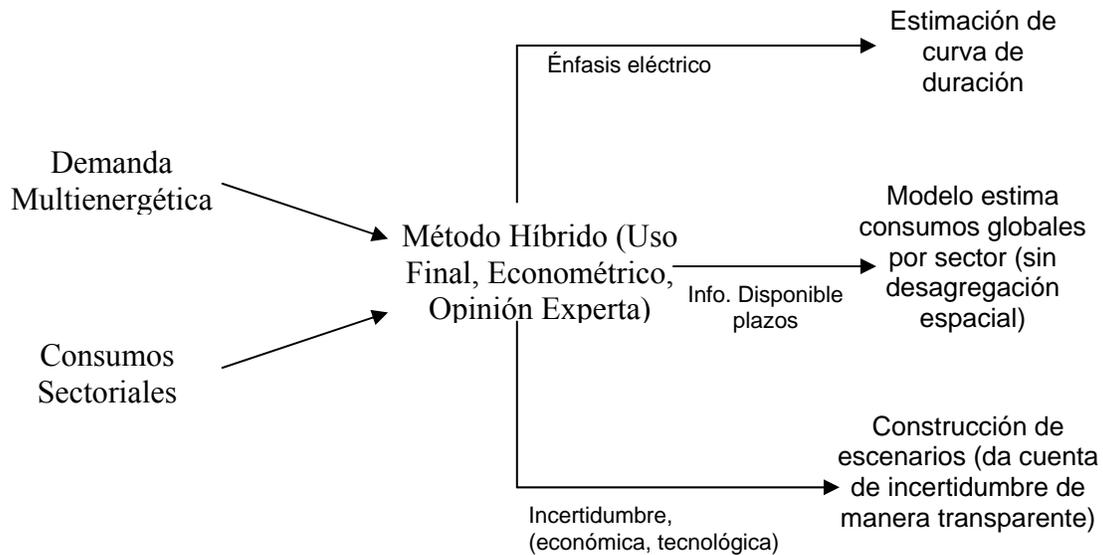
Una característica transversal a un modelo debe ser la transparencia. En efecto, y frente a una importante falta de información, los supuestos deben quedar explícitos y los parámetros claves del modelo deben poder modificarse en la medida que surjan nuevos antecedentes.

La complejidad de realizar una proyección hace necesario contar con métodos flexibles que permitan llenar vacíos de información y realizar comparaciones. Por este motivo, se sugiere un enfoque metodológico híbrido que combine herramientas de econometría y series de tiempo con otras de tipo de uso final. Eventualmente, para sectores con información escasa, o bien, claves para la economía y/o consumos energéticos, se utilizará opinión experta para sumar antecedentes respecto del desarrollo futuro de éstos. Los métodos econométricos y de series de tiempo permiten comparar tendencias de corto y largo plazo.

Tal como se muestra en la siguiente figura la demanda multienergética asociada a cada sector será determinada, dependiendo del caso, a través de estimaciones econométricas o de

uso final (pueden ser ambas a la vez). Los resultados de estas estimaciones servirán para construir la curva de duración de electricidad y también permitirán construir los escenarios de consumo global para Chile. La figura siguiente resume las principales características del modelo propuesto

Figura 15 Resumen de Características Generales de Modelo



Fuente: Elaboración propia.

Las predicciones a largo plazo suelen asumir la existencia de relaciones estructurales y que éstas varían de manera gradual. Por el contrario, el mundo real presenta discontinuidades y eventos disruptivos que se hacen más probables mientras mayor es el horizonte del pronóstico. La existencia de esta incertidumbre hace que se recomiende un análisis de escenarios que dé cuenta de variaciones en parámetros claves.

De esta manera, se construye un escenario base (BAU) y escenarios alternativos. La elección de condiciones tecnológicas en cada escenario (y particularmente en BAU) es crítica (IWG, 2000). En efecto, los análisis de escenarios de largo plazo deben incluir consideraciones de desarrollo tecnológico, investigación y desarrollo, y cambios estructurales. Los cambios estructurales pueden separarse en cambios inter-sectoriales e intra-sectoriales. El resumen de la metodología sectorial propuesta se puede ver en el anexo 3.

La elección metodológica y enfoque sectorial del proyecto hacen factible estimar solo la demanda energética a nivel global. Es decir, no es posible realizar desagregaciones geográficas a nivel espacial. La inclusión de consideraciones espaciales requeriría de

numerosos antecedentes respecto del origen de los consumos. Este tipo de estudio no es factible de realizar en los plazos definidos para el proyecto actual.

Finalmente, y particularmente para la demanda eléctrica, el modelo a desarrollar debe ser capaz de transformar el consumo anual en una la demanda anual, reflejada en una curva de carga o duración.

2.2 Otras Características Deseables para un Modelo de Consumo de Largo Plazo

VARIABLES DEL LADO DERECHO ESTIMABLES

Una de las características deseables de los modelos econométricos es que las variables explicativas sean estimables. Como la variable a explicar es el consumo de combustibles en el tiempo es necesario que existan proyecciones de las variables explicativas.

En este caso se han elegido como variables explicativas la producción sectorial, el parque automotor (para el sector del transporte) y en algunos casos el PIB (asociado a industrias y minas variasy el sector CPR, entre otros).

Con el fin de definir la senda de las variables explicativas hay que preguntarse si las tasas de crecimiento de estas variables son razonables. Es decir que sus supuestos de crecimiento no sean demasiado optimistas ni pesimistas, también deben poder incorporarse en estas variables cambios estructurales.

Otras variables que no fueron incorporadas en las proyecciones son el precio de los combustibles y elasticidades de sustitución entre energéticos, debido a la falta de certidumbre que presentan estas variables en su proyección. Tampoco se incluyen supuestos sobre cambios futuros de tecnologías ni de costos en el modelo.

Parámetros estimables

El grado de dependencia del consumo energético es recogido en los parámetros que acompañan a las diversas variables económicas explicativas. Para asegurar la correcta elaboración de este modelo es necesario que los parámetros explicativos respondan a la intuición económica y que sean estadísticamente distintos de cero.

Econométricamente robusto

Un modelo debe ser econométricamente robusto al estar en línea con los postulados teóricos que describan la mejor aproximación en el tipo de datos a estimar. Este modelo debe ser lo suficientemente estable ante fluctuaciones en sus parámetros. Para esto es necesario desarrollar un análisis de sensibilidad en sus variables explicativas.

Apropiado para los datos existentes

Otro punto a considerar es que el modelo permita incorporar los mejores datos disponibles y que no deje fuera variables que ilustren el comportamiento del consumo en el tiempo.

3 Propuesta General de Modelo de Proyección de Consumo Energético de Largo Plazo

3.1 Antecedentes generales

En este trabajo se emplea un enfoque econométrico que considera los sectores económicos desagregados, según el balance de energía publicado anualmente por la Comisión Nacional de Energía.

Se desea un enfoque que entregue las tendencias de largo plazo para los distintos consumos energéticos en los distintos sectores, en función de las variables que afectan el consumo energético de ese sector o subsector. Este enfoque es superior, dado los datos disponibles, a otros enfoques que tienen requerimientos de serie de tiempo más intensivas. Además no permiten realizar sensibilidades en las predicciones bajo diferentes supuestos de cambios en los niveles de producción.

Los modelos ARMA son otro enfoque de estimación. El problema de este tipo de modelos, además de ser muy intensivos en datos (series largas), es que la variable modelada es explicada en base a sí misma. Debido a esto, no aprendemos nada de su comportamiento y de la relación que en definitiva determina su nivel, como por ejemplo la producción o el nivel de actividad asociado al sector o subsector al que pertenece la variable modelada.

El filtro Hodrick- Prescott (HP por su sigla en inglés) es otro enfoque de estimación; este tipo de proceso suaviza la serie y no agrega valor, ya que en sí mismo este proceso es un insumo para la estimación. Este tipo de técnicas se justifica con series largas, pues el filtro necesita “saber” qué es largo plazo y qué es corto plazo.

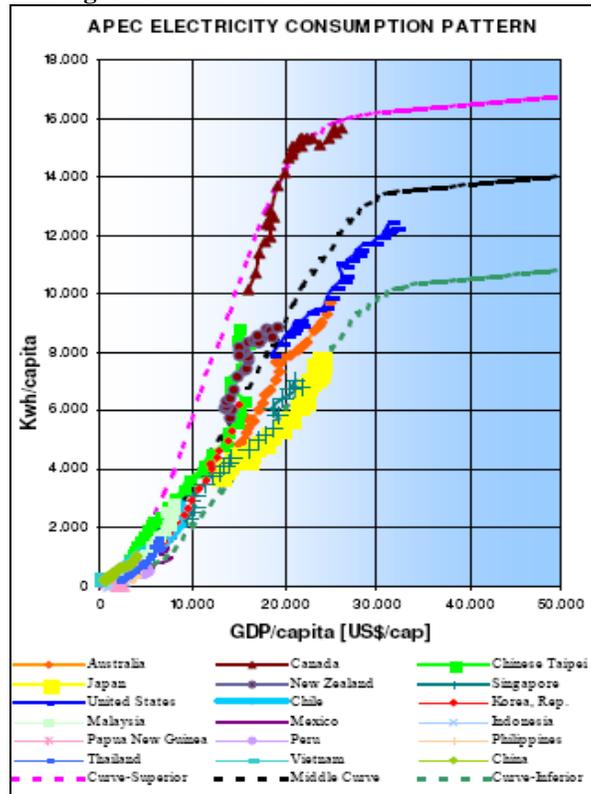
Dado que se desea la tendencia de largo plazo, no se incluyen en el enfoque variables que generen oscilaciones de corto plazo, como por ejemplo los precios. Otra razón importante de no considerar los precios en el enfoque econométrico deseado es la necesidad de contar con proyecciones de estos en el largo plazo, lo cual lógicamente no es posible, toda vez que sería inviable obtener estimaciones creíbles del precio del petróleo o del carbón en el largo plazo. Desafortunadamente es difícil obtener buenas estimaciones de dichos precios incluso para el corto plazo debido a su alta volatilidad.

Otra variable que podría incluirse para modelar el comportamiento de los consumos energéticos en algunos sectores más abiertos que otros, es el tipo de cambio. El problema en este caso es similar al caso de los precios, ya que no se cuenta con estimaciones confiables del tipo de cambio en el largo plazo.

No se incluye en el modelo un efecto de saturación (distinto al histórico de los datos) de los consumos energéticos propios y naturales de los países desarrollados ya que el PIB per

cápita de Chile no alcanza aún esos niveles. A modo de ilustración se muestra en la siguiente figura los niveles de PIB per cápita para los cuales se produce saturación del consumo eléctrico en diferentes países de la APEC.

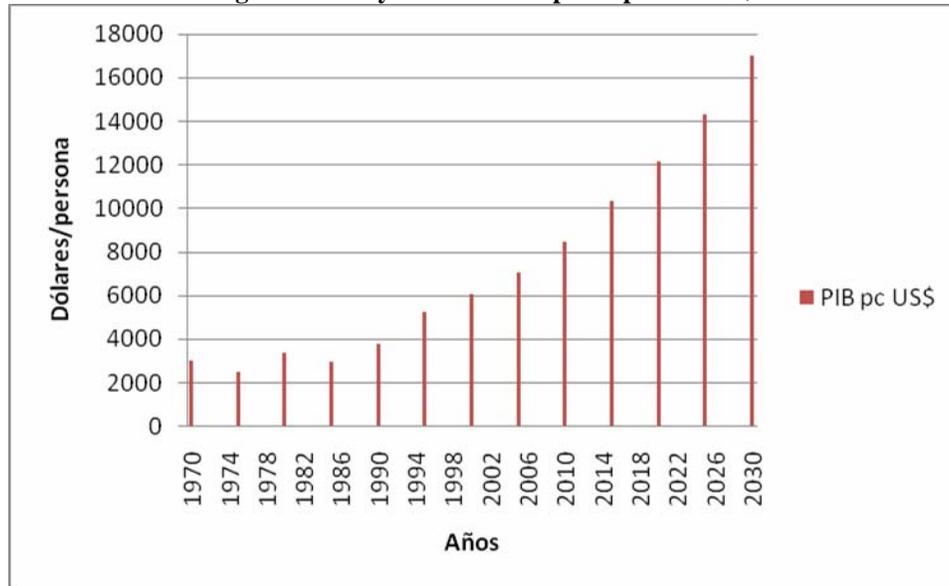
Figura 16: saturación del consumo eléctrico



Fuente: IAE World Bank.

Para el caso de Chile los niveles de PIB per cápita proyectados no alcanzan los niveles a los cuales se produce saturación. Esto justifica la no incorporación de este efecto en el modelo econométrico. Lo anterior se muestra en la siguiente figura donde se espera que el PIB per cápita este en torno a los 17.000 dólares el año 2030.

Figura 17: Proyección de PIB per cápita en US\$



Fuente: Elaboración propia

3.2 Metodología de Proyección Propuesta

Para realizar las estimaciones y proyecciones de los distintos consumos de energía, se emplea una metodología multisectorial y subsectorial, que se fundamenta en funciones de producción para cada sector, lo cual nos entrega una medida de tendencia de los consumos de largo plazo.

$$Y_t = \prod_i C \cdot P_{it}^{\alpha_i}$$

Donde Y_t representa los distintos consumos de energía del sector o subsector, C es una constante, P_{it} es la producción tipo i del sector o subsector en cuestión en el tiempo t y α_i es la elasticidad del consumo energético respecto de la producción tipo i en el sector o subsector tratado.

Para visualizar mejor las relaciones antes expuestas, es común expresar la ecuación anterior en términos logarítmicos, esto es:

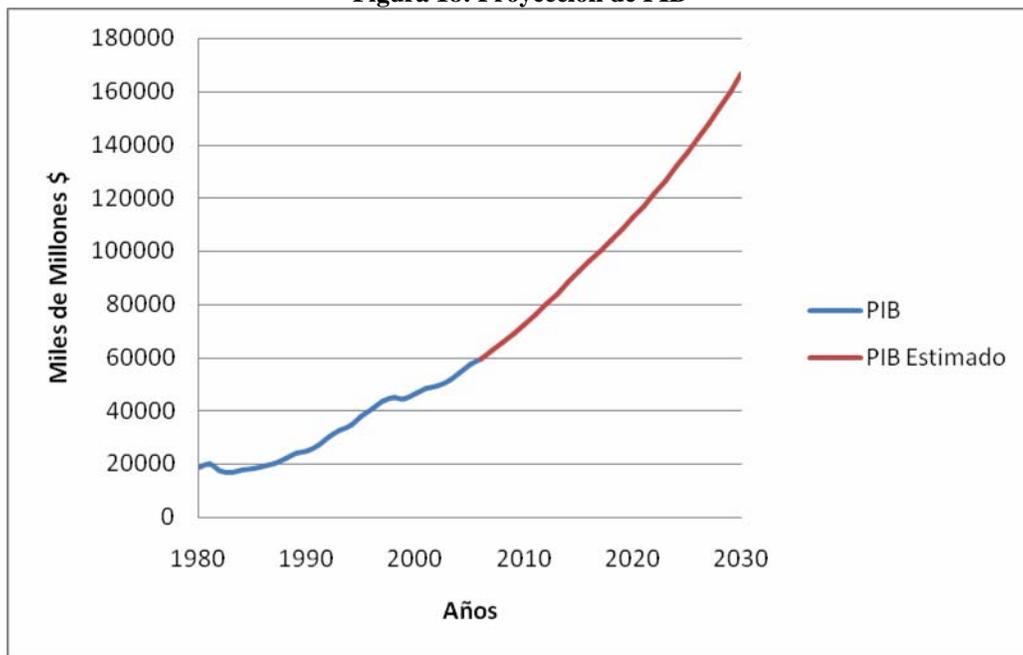
$$\ln Y_t = \ln C + \sum_i \alpha_i \cdot \ln P_{it}$$

Las variables minúsculas representan las variables antes descritas en logaritmo natural.

En particular, para el sector comercial público y residencial (CPR) se emplea como proxy de la variable explicativa P el producto interno bruto (PIB). Lo mismo ocurre en el subsector Industrias y minas varias. En el Anexo 4 se encuentran las ecuaciones de cada sector y subsector y las tablas obtenidas de cada regresión en el software Eviews.

La evolución del producto interno bruto, considerado en este trabajo, se muestra en la figura 18. Hasta el año 2006 se muestran los datos reales y para los siguientes años se proyecta, en base a opinión experta, un crecimiento de un 5% hasta el año 2015 y luego un crecimiento de un 4% hasta el año 2030.

Figura 18: Proyección de PIB

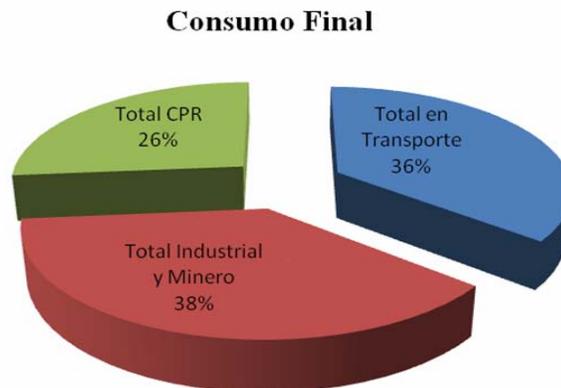


Fuente: Elaboración propia

3.3 Sectores considerados

Los tres sectores considerados en las proyecciones de consumo energético son Comercial, Público y Residencial; Transporte; e Industrial y Minero. Cada uno presenta participaciones relativas similares en el consumo total tal como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 19: Participación sectorial de los consumos

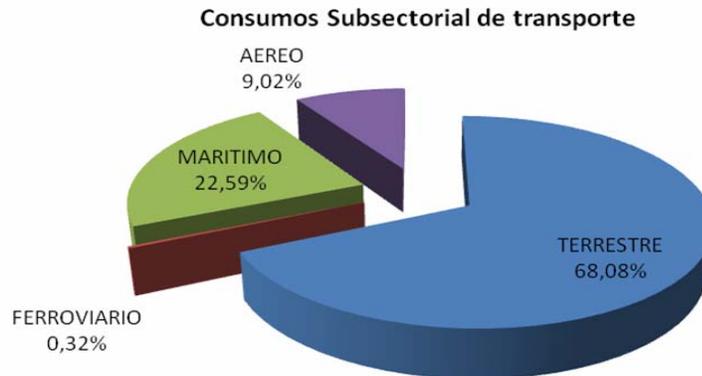


Fuente: Elaboración propia en base a datos CNE

Debido a que cada uno de los tres sectores está compuesto por subsectores con estructuras diferentes de consumo energético se desagregan los subsectores más importantes para estimar su consumo.

En particular el sector CPR es tratado como un gran sector por lo que no es desagregado. El sector de Transporte es desagregado en transporte terrestre, aéreo, ferroviario y marítimo. Como se aprecia en la siguiente figura cerca del 70% del consumo energético del sector transporte se asocia al transporte terrestre y el 23% a transporte marítimo. Los otros subsectores representan una menor proporción del consumo de este sector.

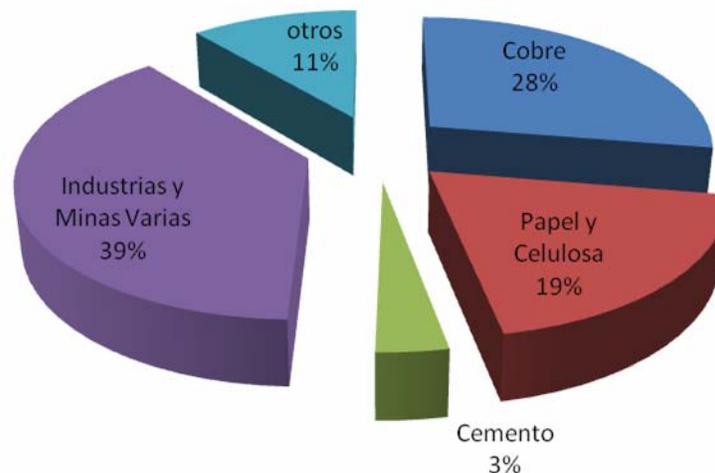
Figura 20: Sector y subsector Transporte



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CNE

El sector Industrial y Minero por su parte es desagregado en los subsectores de Cobre, Papel y Celulosa e Industrias y Minas Varias, Cemento y Otros. Los primeros tres subsectores representan el 90% del consumo total de este sector. El sector “Otros” está compuesto por varios subsectores como hierro, salitre y pesca entre otros.

Figura 21: Consumo Subsectores de Industrial y Minero



Fuente: Elaboración propia en base a datos CNE

A continuación se presenta un resumen con los sectores y subsectores proyectados. Además se muestran las agregaciones asociadas a cada subsector proyectado. Por ejemplo, el consumo del sector Industrial y Minero esta compuesto por los consumos energéticos de los subsectores Cobre, Cemento, Celulosa y papel, Industria y minas varias y Otros sectores.

Cada subsector proyectado se agrega como se muestra en la última columna de la siguiente tabla. En particular se aprecia que “Otros sectores” esta compuesto por Salitre, Hierro, Siderúrgica, Petroquímica, Azúcar y Pesca.

Cuadro 5. Desagregación de los sectores proyectados

Sectores	Subsectores Proyectados	Agregación
Industrial y minero	Cobre	Cobre
	Cemento	Cemento
	Celulosa y papel	Celulosa y papel
	Industria y minas varias	Industria y minas varias
	Otros sectores	Salitre, Hierro, Siderúrgica, Petroquímica, Azúcar y Pesca
CPR	CPR	Comercial, Público y Residencial
Transporte	Transporte terrestre	Vehículos de pasajeros o livianos (automóviles y taxis), Vehículos comerciales (Furgones y camionetas), Buses y Camiones
	Transporte marítimo	Transporte marítimo
	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario
	Transporte aéreo	Transporte aéreo

Fuente: Elaboración propia en base a datos CNE

3.4 Modelos por sector

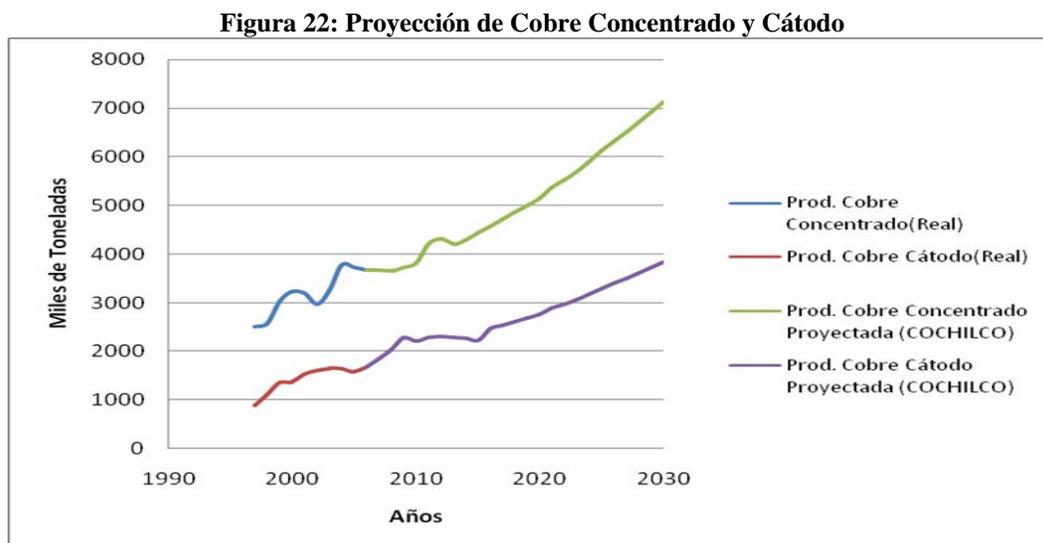
En el enfoque econométrico propuesto multienergético y multisectorial de largo plazo es necesario utilizar proxies adecuados que identifiquen el nivel de producción o actividad del sector o subsector. Por ello, para cada sector y subsector, los consumos energéticos serán modelados como función de producción, según lo descrito en la sección 3.2. A continuación se describen las principales características de cada sector y subsector, las proxies seleccionadas por subsector y las estimaciones de consumo energético obtenidas.

3.4.1 Sector Industrial

3.4.1.1 Subsector Cobre

Los consumos energéticos del subsector Cobre se relacionan de manera directa con la producción de cobre nacional. Por otro lado, en este sector se cuenta con proyecciones oficiales de COCHILCO respecto de la producción futura anual de cobre hasta el 2030. De esta manera, para ser consistente con el enfoque econométrico propuesto (función de producción), se pueden utilizar las producciones de cobre separadas por producción de cobre cátodo y producción de cobre concentrado como variable explicativa del consumo energético de largo plazo de este subsector.

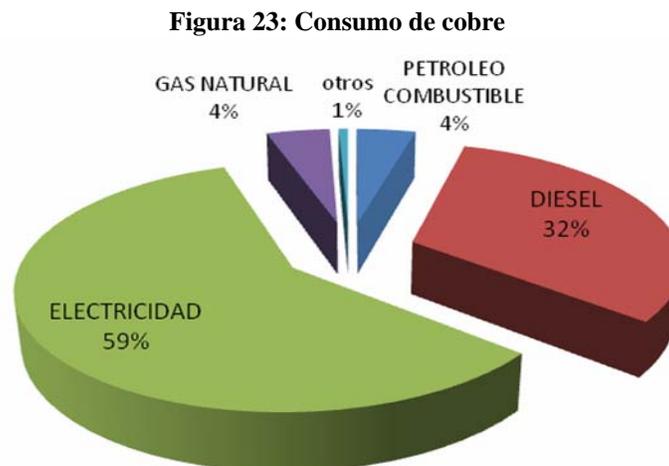
Las proyecciones de producción, separadas en concentrados y cátodos, se muestran en la siguiente figura.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de COCHILCO

Los consumos energéticos de este sector son principalmente de electricidad y diesel; y en una menor medida de petróleo combustibles y gas natural. Todas las variables de consumo son expresadas en tercalorías como unidad energética para realizar comparaciones y ser consistentes con el balance de energía. En los procesos de producción de cátodos existen dos tecnologías distintas en el uso de energía, la pirometalurgia y la hidrometalurgia. La primera utiliza electricidad y combustibles y su uso genera modificaciones en los procesos de fundición obteniéndose menores consumos específicos. La segunda utiliza principalmente electricidad. Por otro lado la obtención de concentrados ocupa mayoritariamente electricidad. El consumo de diesel se asocia mayoritariamente a camiones. No se aprecian mayores sustituciones entre energéticos salvo para petróleo combustibles y gas natural.

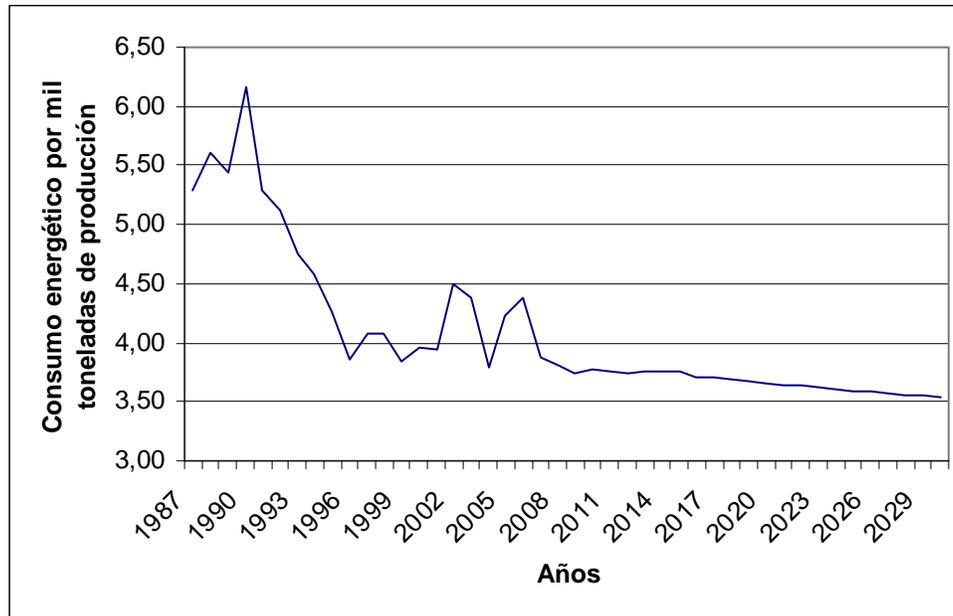
La siguiente figura presenta la importancia relativa de cada energético.



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

En la siguiente figura se aprecia la evolución del consumo unitario de energía por miles de toneladas de concentrado y cátodos producidos. Esta evolución se explica principalmente por dos efectos. El primero se asocia al progreso tecnológico recogido en la regresión y que indica que cada vez se produce con menos energía. El segundo efecto presente es originado por el empeoramiento de la ley del recurso y que genera un mayor esfuerzo en su extracción y por lo tanto un mayor consumo energético para producir una tonelada de cobre. Sin embargo como se aprecia en la siguiente figura predomina el efecto tecnológico por lo que la evolución de este consumo va cayendo en el tiempo.

Figura 24: Consumo energía por mil toneladas de producción de cobre



Fuente: Elaboración Propia.

Consumo de Electricidad del Subsector Cobre

El consumo histórico de Electricidad de este subsector muestra un buen ajuste con la producción de cobre concentrado y producción de cobre cátodo. En consecuencia, utilizando los datos históricos para este sector se estima el modelo de consumo de electricidad⁷.

El consumo de electricidad del subsector Cobre queda modelado por la siguiente función⁸:

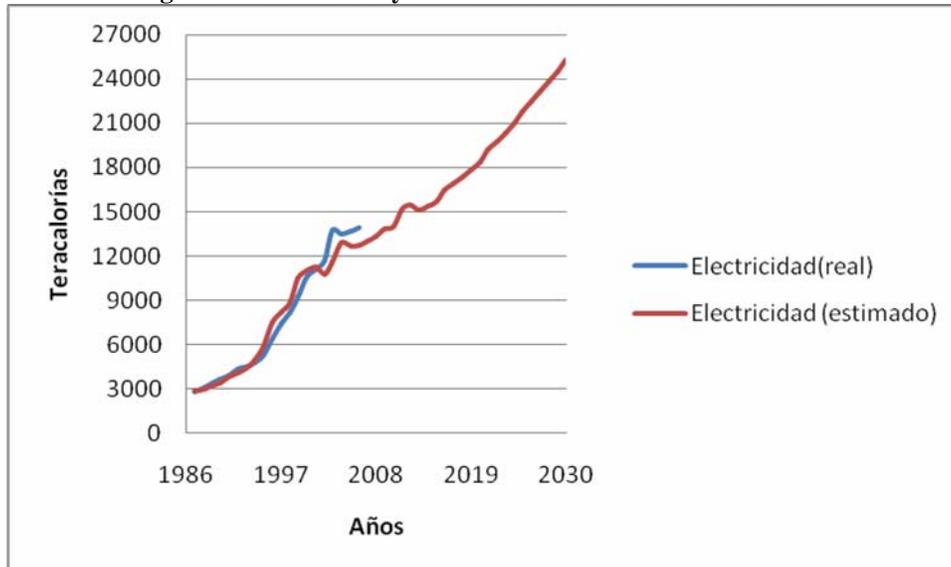
$$elect_2 = 1.61 + 0.73 \cdot prod\ cu\ concentrado_2 + 0.24 \cdot prod\ cu\ cátodo + \epsilon_2$$

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cobre concentrado y cobre cátodo, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de electricidad.

⁷ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁸ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

Figura 25: Curva real y estimada de consumo de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de electricidad tiene un buen ajuste con el consumo real de electricidad, esto es, dados los patrones históricos, es decir, con la información histórica disponible para este consumo.

Las estimaciones muestran un incremento de un 2.9% promedio anual del consumo de electricidad del subsector Cobre entre los años 2006 y 2030. Esto es bastante menor que el incremento del consumo electricidad de este subsector para un periodo de tiempo similar, ya que entre 1982 y 2006 este aumento fue de 8.1% promedio anual.

Consumo de Diesel del Subsector Cobre

El consumo histórico de Diesel de este subsector muestra un buen ajuste con la producción de cobre concentrado y producción de cobre cátodo, a pesar que se aprecian fluctuaciones de corto plazo (lo que se debería a cambios en precios), el modelo es adecuado para los fines requeridos, el que es el largo plazo. En consecuencia, utilizando los datos históricos para este sector se estima el modelo de consumo de diesel⁹, que es expresado por la siguiente función¹⁰:

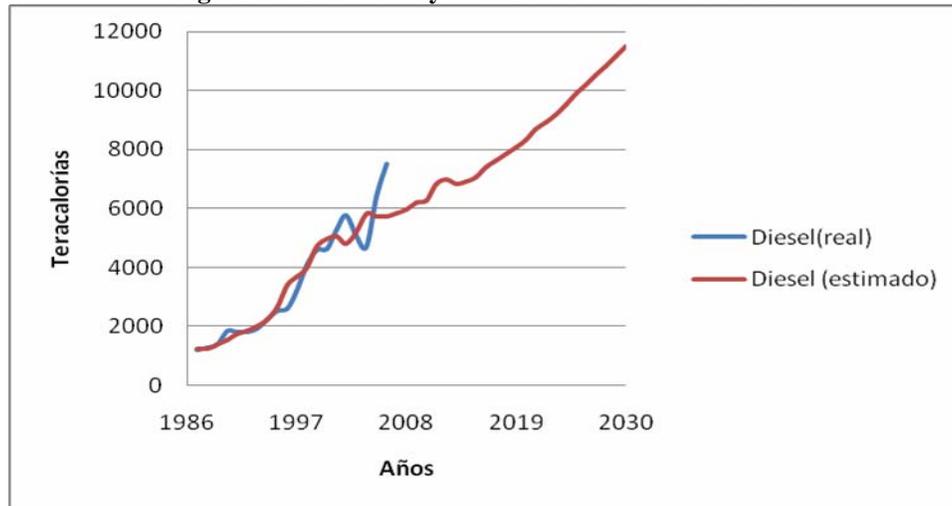
$$diesel_t = 0.64 + 0.77 \cdot prod\ cu\ concentrado_t + 0.22 \cdot prod\ cu\ cátodo_t + \varepsilon_t$$

⁹ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

¹⁰ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cobre concentrado y cobre cátodo, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de diesel.

Figura 26: Curva real y estimada de consumo de Diesel



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo construido para el diesel presenta un buen ajuste con el consumo real de diesel. Lo que se explica revisando la información histórica disponible para el consumo de diesel.

Los resultados muestran un incremento promedio anual de un 2.9% del consumo de diesel del subsector Cobre entre los años 2006 y 2030. Esto es bastante menor que el incremento del consumo diesel de este subsector para un periodo de tiempo similar, ya que entre 1982 y 2006 este aumento fue de 8.9%.

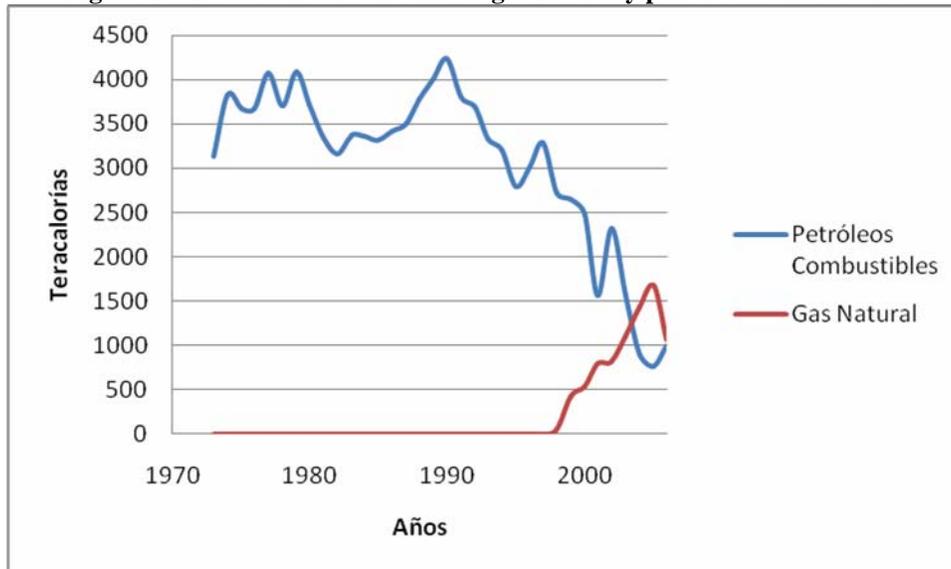
Consumo de Petr6leos Combustibles y Gas Natural del Subsector Cobre

El consumo de Petr6leo combustibles en este sector ha presentado una marcada tendencia a la baja. Lo que se explica por cambios en las tecnologías de producci6n, marcadas por la incorporaci6n de procesos aut6genos que se basan en procesos de oxidaci6n en hornos, sustituyendo a los hornos del tipo reverbero.

El gas natural y el petr6leo combustible son sustitutos muy cercanos para el subsector Cobre. En consecuencia el consumo de ambos energ6ticos debe modelarse de manera conjunta y luego se debe desagregar en base a criterios de disponibilidad futura de ambos combustibles. En particular, en base a opini6n experta del subsector, se asume que el consumo de gas natural se mantiene constante a partir del a6o 2006.

A modo ilustrativo, en la siguiente figura, se muestra el grado de sustitución y la evolución histórica de los consumos. A partir de 1997 la tendencia del consumo de petróleos combustibles se ve acentuada por la aparición del gas natural.

Figura 27: Evolución del consumo de gas natural y petróleos combustibles



Fuente: Elaboración Propia

El consumo histórico de gas natural y petróleos combustibles de este sector muestra un buen ajuste con la producción de cobre concentrado y cobre cátodo. En consecuencia, utilizando los datos históricos de gas natural y petróleos combustibles para este sector se estima el siguiente modelo de consumo¹¹.

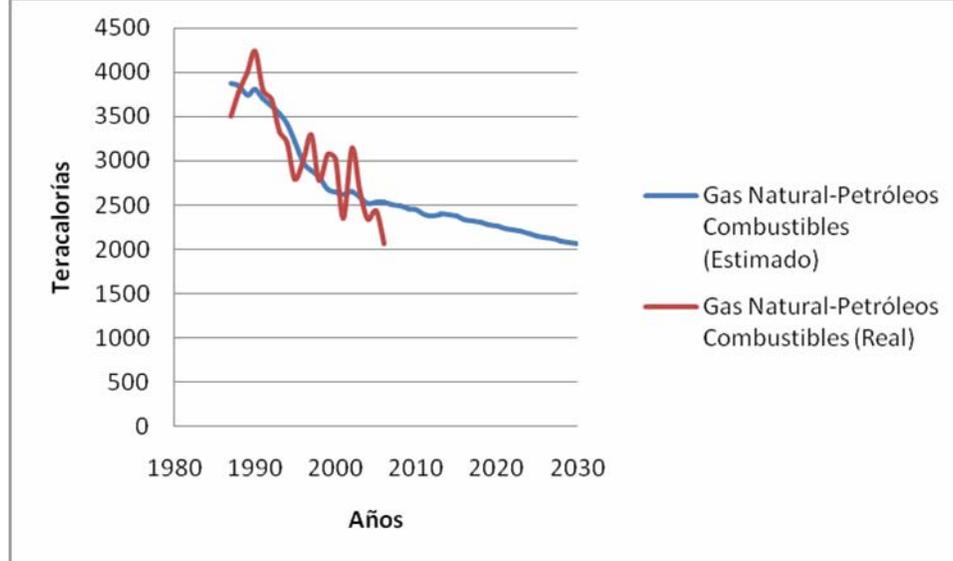
$$pc \text{ y } gn_t = 10.13 - 0.2 \cdot \text{prod cu concentrado}_t - 0.08 \cdot \text{prod cu cátodo} + \varepsilon_t^{12}$$

En base a la estimación conjunta realizada y la proyección futura de la producción de cobre concentrado y cobre cátodo, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de petróleos combustibles y gas natural.

¹¹ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

¹² Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

Figura 28: Curva real y estimada de consumo de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de gas natural y petróleo combustibles presenta un buen ajuste de largo plazo con el consumo real de estos energéticos. Lo anterior permite realizar proyecciones confiables del consumo de estos combustibles a partir de los patrones históricos para este consumo. Se espera que la tasa de crecimiento entre el período 2006 y el 2030 sea de un -0.9% lo que refleja que la tendencia histórica a la baja se debería suavizar ya que en el período 1982-2006 el consumo de gas natural y petróleo combustibles cayó a una tasa promedio anual del -1.8%.

Consumo de Otros Energéticos del Subsector Cobre

Los otros energéticos consumidos por Cobre corresponden al 0,7% del consumo total de energía de este sector. En particular se consideran como otros energéticos el Kerosene, Gas licuado, Nafta, Carbón y Coke.

Si bien se aprecian fluctuaciones de corto plazo, el consumo histórico de otros energéticos en este subsector muestra un buen ajuste con la producción de cobre concentrado y producción de cobre cátodo en el largo plazo. En consecuencia, utilizando los datos históricos para este sector se estima el modelo de consumo¹³, el cual se expresa por la siguiente función:

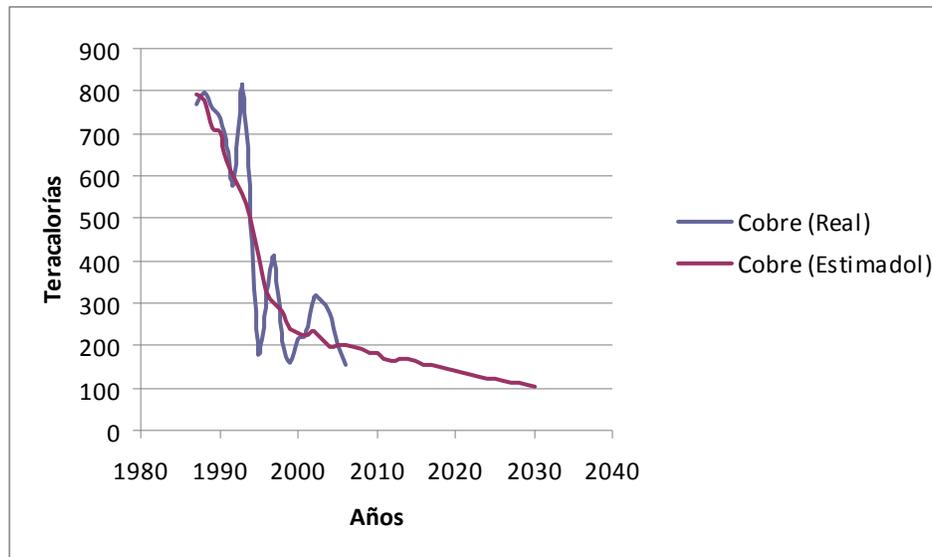
$$otros_t = 12.66 - 0.68 \cdot prod\ cu\ concentrado_t - 0.24 \cdot prod\ cu\ cátodo_t + \varepsilon_t^{14}$$

¹³ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

¹⁴ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cobre concentrado y cobre cátodo, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de otros energéticos.

Figura 29: Curva real y estimada de consumo de Otros energéticos



Fuente: Elaboración Propia

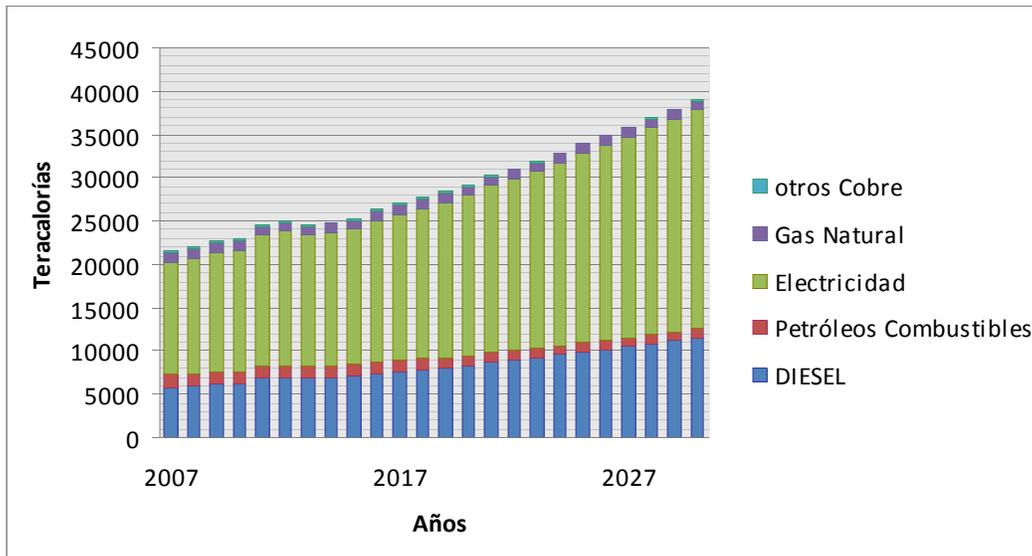
Como se observa en la figura anterior, el modelo de consumo de otros energéticos presenta un buen ajuste con el consumo real en el largo plazo, si bien el modelo no captura las fluctuaciones reales de corto plazo.

De acuerdo a los datos históricos, el consumo de otros energéticos en el subsector presenta una disminución promedio anual de -6,4% en el período 1982-2006. Se espera que dicha tendencia a la baja se suavice durante el período 2007-2030, presentando una tasa de disminución anual del consumo de -2,6%.

Resumen de Consumos Energéticos en Cobre

Agregando las distintas estimaciones, podemos graficar las estimaciones (2007-2030) en conjunto para los distintos consumos del subsector cobre, esto se muestra en la siguiente figura:

Figura 30: Consumos Cobre

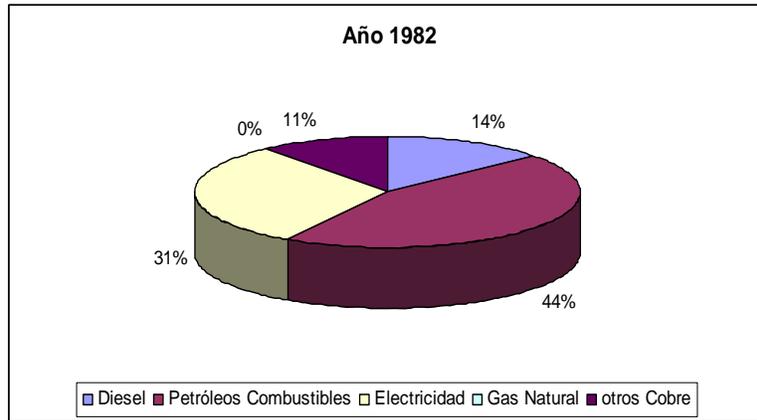


Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 2.1% del consumo total de energía del subsector Cobre entre los años 2006 y 2030. Esto es bastante menor que el incremento del consumo total de energía de este subsector para un periodo de tiempo similar, ya que entre 1982 y 2006 la tasa de crecimiento promedio anual fue de un 5.2%.

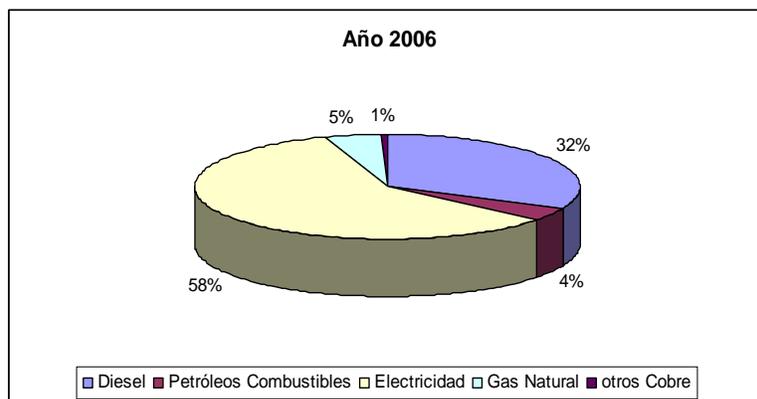
Tal como se aprecia en las figuras 31, 32 y 33 la estructura de consumo de energéticos en el sector del cobre ha cambiado fuertemente. Entre los años 1982 y 2006 se redujo fuertemente la dependencia de petróleos combustibles y otros combustibles, para transformarse en un subsector más intensivo en electricidad y diesel. Además, en este período se utiliza el gas natural como un nuevo energético. Según las proyecciones de largo plazo se espera que aumente, para el año 2030, la intensidad en el uso de electricidad y que se mantenga la estructura de consumo de petróleos combustibles y diesel.

Figura 31: Estructura de consumo energético en el sector del cobre, año 1982



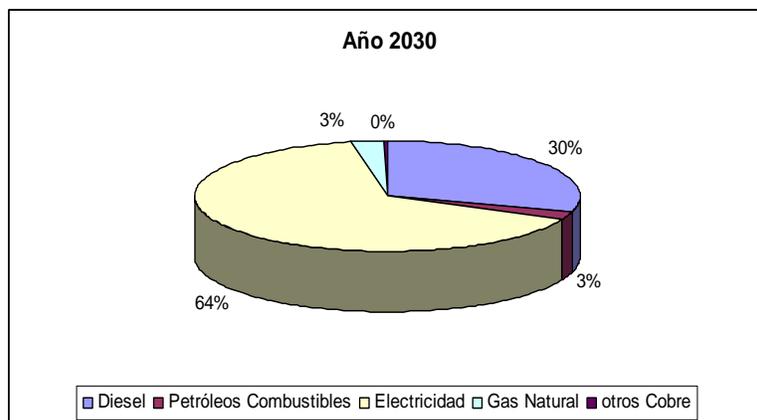
Fuente: Elaboración Propia en base a datos de CNE

Figura 32: Estructura de consumo energético en el sector del cobre, año 2006



Fuente: Elaboración Propia en base a datos de CNE

Figura 33: Estructura de consumo energético en el sector del cobre, año 2030



Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.2 Subsector Papel y Celulosa

Los consumos energéticos del subsector Papel y Celulosa se relacionan de manera directa con su producción, la que está compuesta por papel, celulosa y madera aserrada. Para este subsector se utilizan las proyecciones de producción de papel, celulosa y madera aserrada como variable explicativa del consumo energético de largo plazo.

Producción de Papel, Celulosa y Madera Aserrada

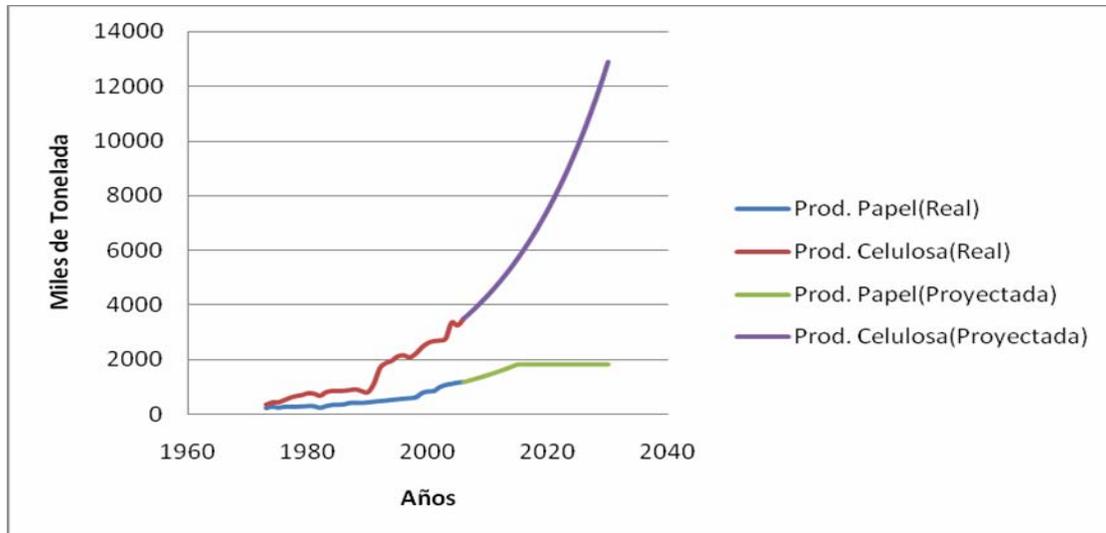
En este punto se explican los supuestos y la metodología empleada para proyectar las producciones de papel, celulosa y madera aserrada. Para proyectar estos niveles de producción se modelan estas variables dependientes del nivel de actividad (PIB). Además se incorporan conceptos de agotabilidad de la madera en base a opinión experta del sector¹⁵.

En los últimos 20 años la producción de papel ha presentado una tasa de crecimiento promedio anual del 5.5%. Utilizando el modelo anterior se obtiene una tasa de crecimiento del 4.9% para la producción de papel hasta el año 2015. A partir del año 2015, en base a opinión de expertos, la producción permanece constante debido a la agotabilidad de nuevos terrenos aptos para la plantación de árboles.

A su vez la producción de celulosa en los últimos 15 años ha presentado un crecimiento promedio anual del 5.5%. Con el modelo propuesto se estima una tasa de crecimiento del 5.6%. Además se espera que la reducción del consumo de madera asociado a papel permita mantener las tasas de crecimiento de celulosa. La evolución y proyección de la producción de papel y celulosa se muestran en la siguiente figura.

¹⁵ Los resultados y datos de esta modelación se presentan en el anexo 4.

Figura 34: Evolución y Proyección de Producción Papel y Celulosa

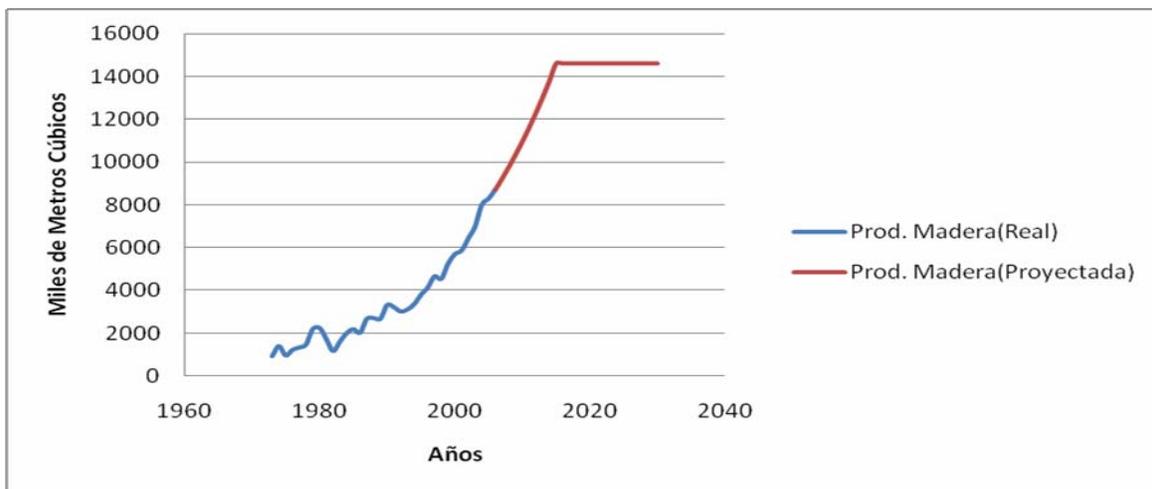


Fuente: Elaboración Propia

En los últimos 15 años la producción de madera presenta una tasa de crecimiento promedio anual del 6%.

Con el modelo propuesto en este trabajo se obtiene una tasa de crecimiento promedio del 5.9% para la producción de Madera Aserrada hasta el año 2015. A partir del año 2015 hasta el año 2030 se asume en base a opinión experta que la producción permanece constante. La evolución y proyección de la producción de Madera Aserrada se muestra en la siguiente figura.

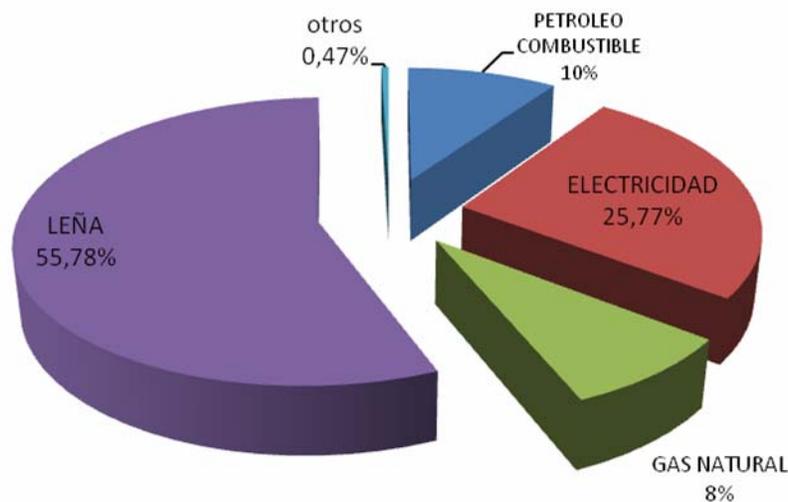
Figura 35: Evolución y Proyección de Producción de Madera Aserrada



Fuente: Elaboración Propia

Los consumos energéticos de este sub sector, para el año 2006, son básicamente de leña, electricidad, petróleos combustibles y gas natural. Todas las variables de consumo están expresadas en tercalorías como unidad energética para ser consistentes con el balance de energía. La siguiente figura presenta la importancia relativa de cada energético desatacando el consumo de leña.

Figura 36: Consumo Papel y Celulosa



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

En términos de sustitución de energéticos se aprecia que existiría sustitución entre leña, petróleos combustibles y gas natural. Y en particular en los aserraderos existe un menor grado de sustitución entre petróleo combustible y leña (aserrín) debido a usos alternativos en la producción.

Consumo de Electricidad del Subsector Papel y Celulosa

Hay que notar que la mayoría del consumo eléctrico de este sector es generado como autoproducción. El consumo histórico de electricidad de este subsector muestra un buen ajuste con la producción de papel, celulosa y madera aserrada. En consecuencia, utilizando los datos históricos para este sector se estima el modelo de consumo de electricidad¹⁶. Este consumo se expresa por la siguiente función¹⁷:

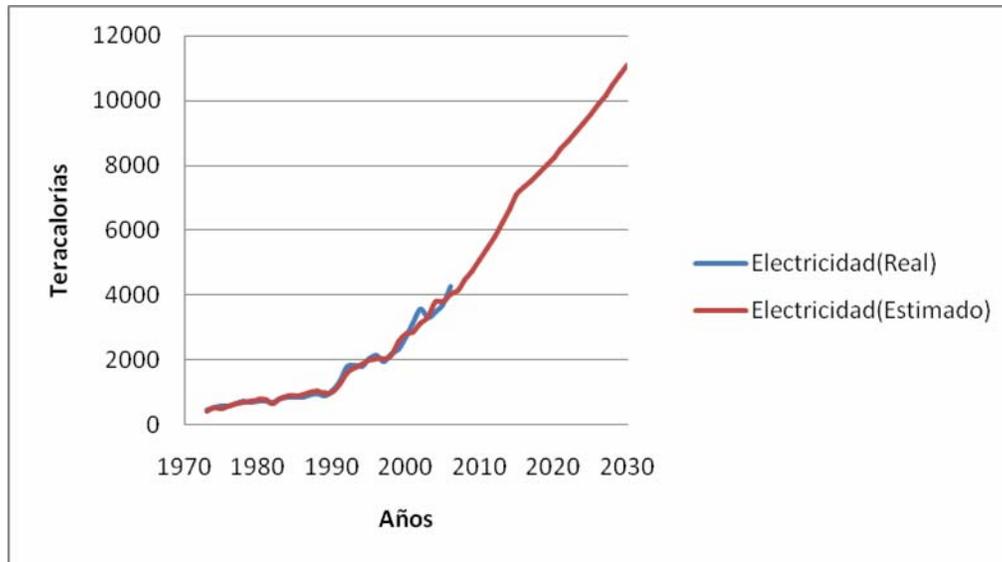
$$elect_c = -0.12 + 0.33 \cdot prod\ celulosa_c + 0.49 \cdot prod\ papel_c + 0.23 \cdot madera_c + \varepsilon_c$$

¹⁶ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

¹⁷ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de papel, celulosa y madera aserrada, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de electricidad.

Figura 37: Curva real y estimada de consumo de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de electricidad presenta un buen ajuste con el consumo real de electricidad, es decir, con la información histórica disponible para este consumo. Además, se aprecia que en el año 2015 se produce un punto de inflexión en la proyección dado por los supuestos de disponibilidad de madera.

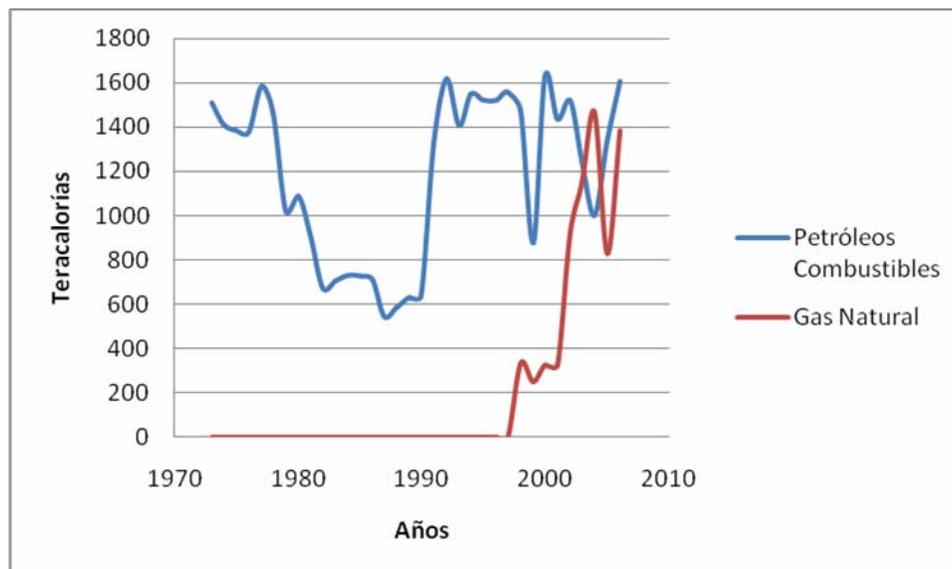
Los resultados del modelo muestran un crecimiento promedio anual de un 3.3% del consumo de electricidad del subsector Papel y Celulosa entre el período 2006 y 2030, esta tasa es menor que el crecimiento promedio anual para el período 1982 y 2006 que fue de un 7.9%.

Consumo de Petróleos combustibles y Gas Natural del Subsector Papel y Celulosa

El gas natural y el petróleo combustible son sustitutos muy cercanos para el subsector papel y celulosa. Por ello el consumo de ambos debe modelarse de manera conjunta, y luego se debe desagregar en base a criterios de disponibilidad futura de ambos combustibles. En base a opinión experta del subsector se asume que el consumo de gas natural se mantiene constante a partir del año 2006.

En el siguiente gráfico se presenta la evolución histórica de ambos consumos, donde se aprecia un grado de sustitución:

Figura 38: Evolución del consumo de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

El consumo histórico de gas natural y petróleos combustibles de este sub sector muestra un buen ajuste con la producción de papel, celulosa y madera aserrada. Luego, utilizando los datos históricos de gas natural y petróleos combustibles para este subsector se estima el modelo de consumo respectivo¹⁸.

El consumo de petróleos combustibles y gas natural del subsector Papel y Celulosa queda modelado por la siguiente función¹⁹:

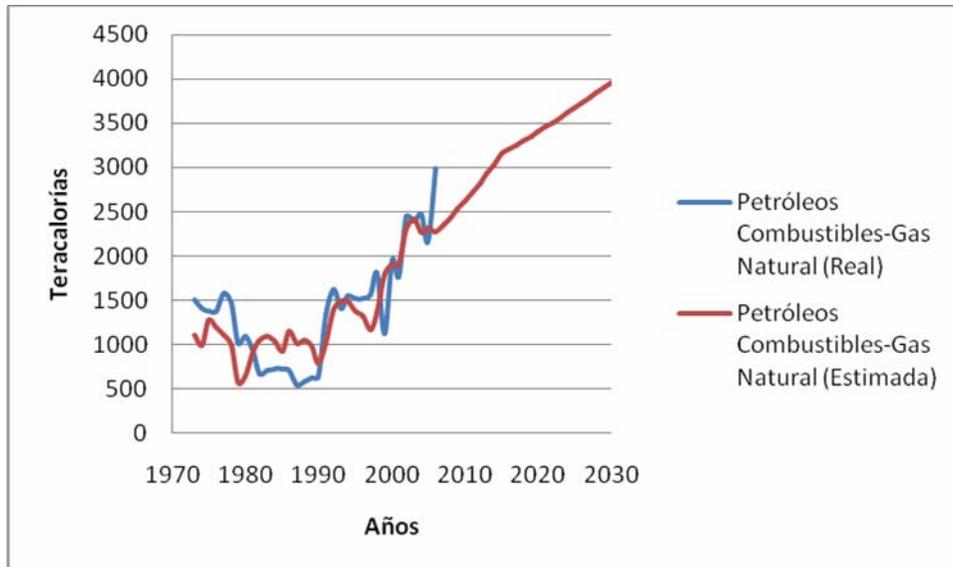
$$pc \text{ y } gn_t = 3.57 + 0.3 \cdot prod \text{ celulosa}_t + 2.14 \cdot prod \text{ papel}_t - 1.48 \cdot madera_t + \varepsilon_t$$

¹⁸ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

¹⁹ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a la estimación conjunta realizada y la proyección futura de la producción de papel, celulosa y madera aserrada, se presenta en el siguiente gráfico la estimación y proyección del consumo de petróleos combustibles y gas natural.

Figura 39: Curva real y estimada de consumo de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

El buen ajuste presentado por el modelo de largo plazo permite realizar proyecciones del consumo de petróleos combustibles y gas natural. Los resultados muestran un incremento de un 2.3% del consumo de petróleos combustibles y gas natural para este subsector entre los años 2006 y 2030. Lo que es menor que el incremento del consumo petróleos combustibles más gas natural (6.4% promedio anual) entre 1982 y 2006. A su vez el consumo de gas natural permanece constante desde el año 2006.

Consumo de Leña del Subsector Papel y Celulosa

El consumo histórico de Leña de este subsector muestra un buen ajuste con la producción de papel, celulosa y madera aserrada. Por ello se estima el modelo de consumo de leña utilizando los datos históricos de este sector²⁰.

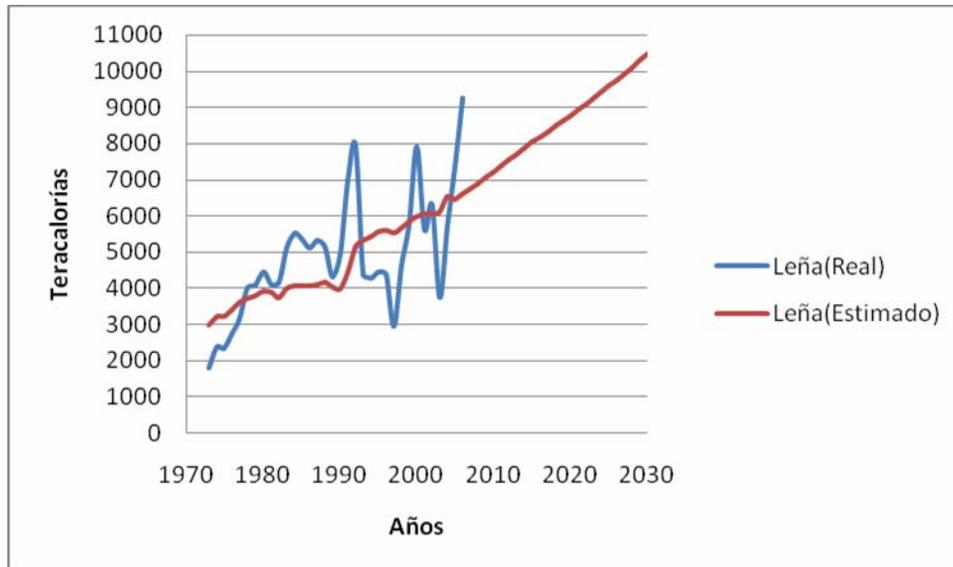
El consumo de leña del subsector Papel y Celulosa queda modelado por la siguiente función:

$$leña_t = 4.71 + 0.91 \cdot prod\ celulosa_t + 0.076 \cdot prod\ papel_t - 0.41 \cdot madera_t + s_t^{21}$$

²⁰ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de papel, celulosa y madera aserrada, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de leña.

Figura 40: Curva real y estimada de consumo de Leña



Fuente: Elaboración Propia

En este caso, la figura anterior no muestra la presencia de un buen ajuste entre las curvas de consumo real de leña y la curva estimada. Lo anterior podría deberse a shocks o fluctuaciones de corto plazo. A pesar bajo ajuste de corto plazo el modelo captura la tendencia de largo plazo. Otro problema asociado al desajuste de las curvas son los posibles errores de medición de las variables, por lo que habría que analizar el grado de confiabilidad de los datos de leña obtenidos. Este problema de credibilidad de los datos es recurrente en consumos de leña y petróleos combustibles. Un interesante trabajo futuro, se asocia a recopilar una nueva fuente de datos o mejorar los sistemas de medición del energético leña, lo que generaría la posibilidad de estudiar más profundamente cada sector y subsector. Sin embargo es interesante notar que las tasas de crecimiento promedio modelada y real no difieren sustancialmente, ya que en el período 1982-2006 se creció a un 3.4% promedio anual mientras que se espera un crecimiento anual del 4.4% en el período 2006-2030.

Otros energéticos de papel y celulosa

Los otros energéticos consumidos por el sector papel y celulosa son Diesel y Gas licuado, cuyo consumo equivale al 0.5% del consumo total de este sector. Dado que el consumo

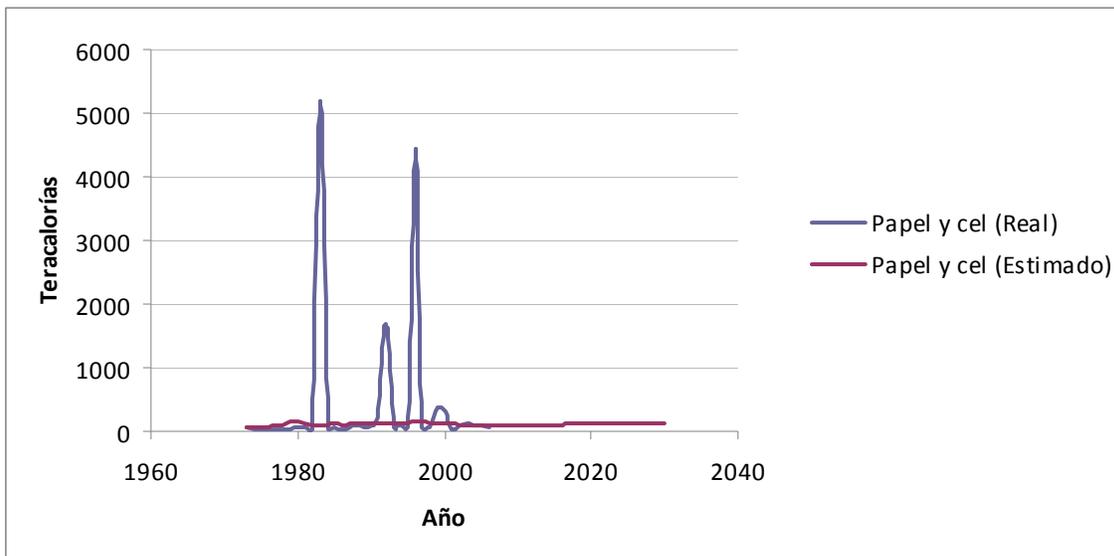
²¹ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

histórico de otros energéticos en este subsector muestra un buen ajuste con la producción de papel, celulosa y madera aserrada, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo²², el cual se expresa por la siguiente función²³:

$$otros_t = 0.79 - 1.26 \cdot prod\ celulosa_t - 0.34 \cdot prod\ papel_t + 1.8 \cdot prod\ madera_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de papel, celulosa y madera aserrada, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de otros energéticos.

Figura 41: Curva real y estimada de consumo de Otros energéticos



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, no existe un buen ajuste entre las curvas de consumo real y estimado, dado que el modelo no capta fluctuaciones de corto plazo. Dada la baja participación de otros energéticos en el consumo total del subsector (de acuerdo a datos del 2006, otros energéticos conforman sólo un 0,5% del consumo total) no se considera relevante una reevaluación de los datos históricos disponibles, aunque queda sugerida para estudios posteriores que requieran profundizar la estructura del consumo energético del subsector.

De acuerdo a los datos históricos, se observa un incremento promedio anual de 3,7% en el período 1982-2006. La proyección estimada por el modelo muestra una tasa caída del 2,1% en el período 2006-2030.

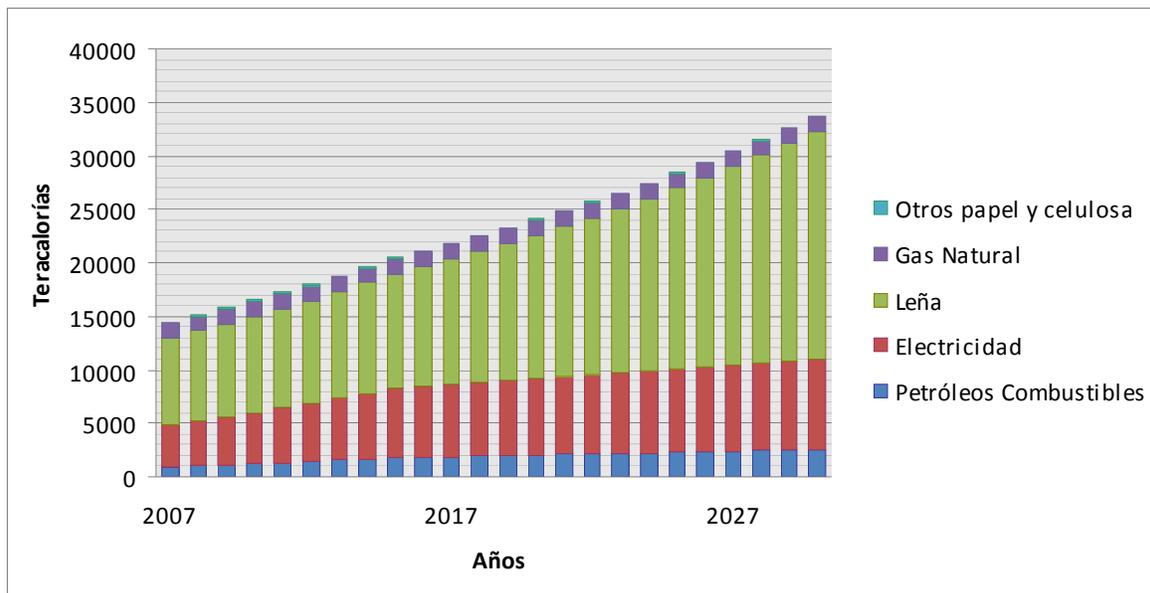
²² Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

²³ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

Resumen de Consumos Energéticos en Papel y Celulosa

Agregando las distintas estimaciones, podemos graficar las estimaciones (2007-2030) en conjunto para los distintos consumos del subsector papel y celulosa:

Figura 42: Consumos Papel y Celulosa

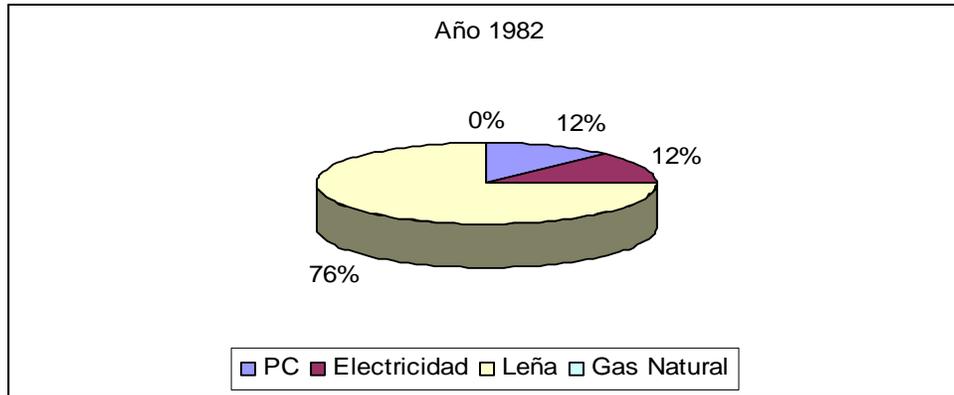


Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento de un 3% promedio anual del consumo total de energía del subsector Papel y Celulosa al año 2030 con respecto al año 2006. Lo que es menor que el incremento del consumo total de energía (4,7% promedio anual) para el periodo 1982 y 2006.

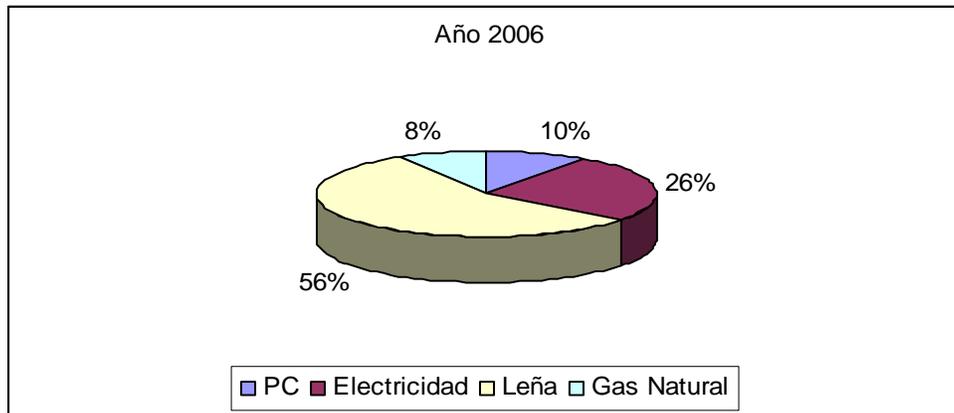
Como se aprecia en las figuras 43, 44 y 45 la estructura de consumo de energéticos en el sub sector de celulosa y papel ha cambiado entre los años 1982 y 2006, ya que se redujo la dependencia de leña, aumentó el consumo eléctrico y se incorporó gas natural. Según las proyecciones de largo plazo se espera que aumente, para el año 2030, el uso de leña y se reduzca la proporción asociada al consumo de gas natural y petróleo combustible.

Figura 43: Estructura de consumo energético en celulosa y papel, año 1982



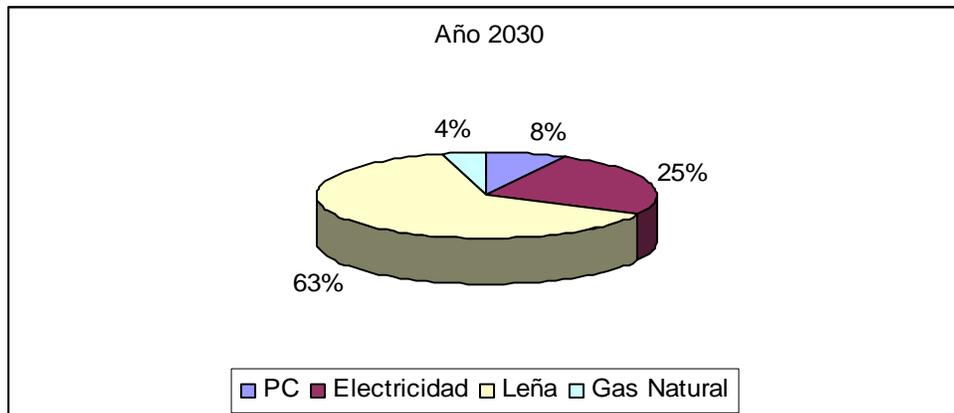
Fuente: Elaboración Propia base a datos de CNE

Figura 44: Estructura de consumo energético en celulosa y papel, año 2006



Fuente: Elaboración Propia base a datos de CNE

Figura 45: Estructura de consumo energético en celulosa y papel, año 2030



Fuente: Elaboración Propia base a datos de CNE

3.4.1.3 Subsector Cemento

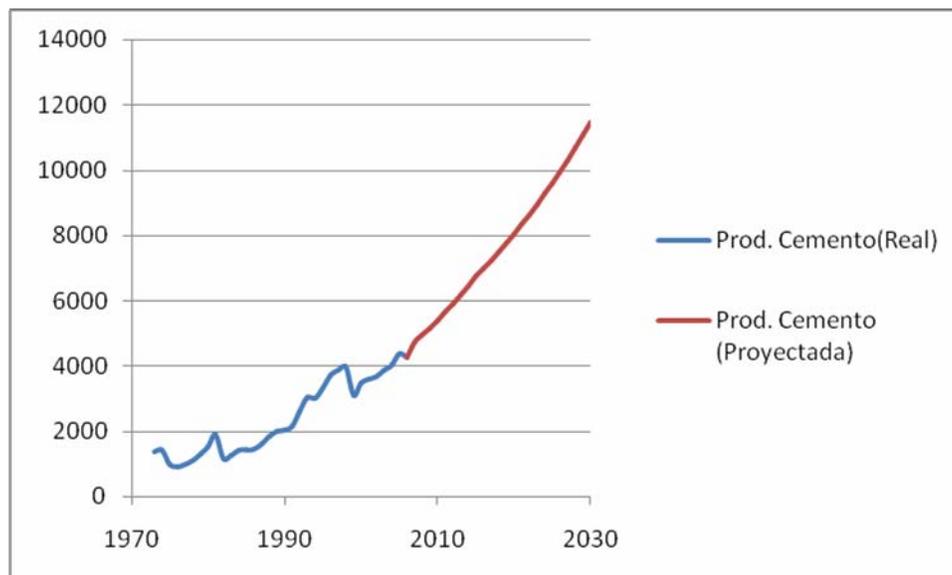
Los consumos energéticos del subsector Cemento se relacionan de manera directa con la producción de cemento y por ello se considera esta variable para la proyección de largo plazo del consumo de energéticos.

Producción de Cemento

En los últimos 15 años la producción de cemento ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual de un 5%. La modelación de la proyección futura de la producción de cemento se desarrolla en función del nivel de actividad esperado (PIB)²⁴. Con el supuesto anterior se obtiene una tasa de crecimiento de la producción de cemento de un 4.2% promedio anual.

La siguiente figura muestra la evolución y proyección de la producción de cemento.

Figura 46: Evolución y Proyección de Producción de Cemento



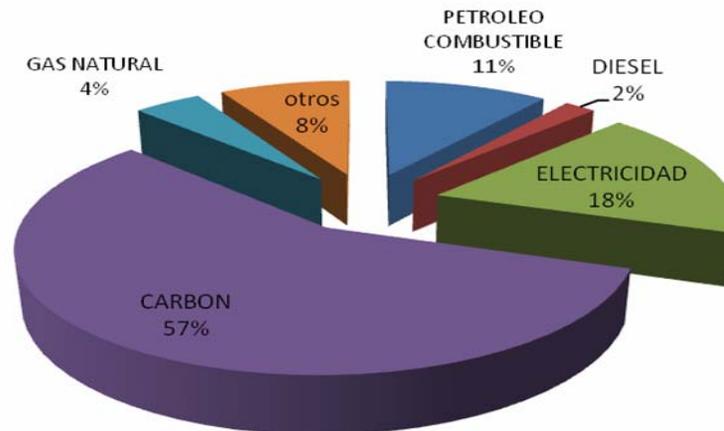
Fuente: Elaboración Propia

Los consumos energéticos de este sector son básicamente de carbón, electricidad, petróleo combustibles, gas natural, y diesel²⁵. La siguiente figura presenta la importancia relativa de cada energético, donde el consumo de carbón representa cerca del 60% del consumo total de energía.

²⁴ El modelo y sus resultados se muestran en el anexo 4

²⁵ Todas las variables de consumo son expresadas en tercalorías como unidad energética para realizar comparaciones y ser consistentes con el balance de energía.

Figura 47: Consumo Cemento



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

Este subsector se caracteriza por el alto grado de sustitución en la mayoría de sus energéticos y en particular se sustituyen petróleos combustibles con gas natural y carbón. En esta industria el principal uso de electricidad se asocia al proceso de molienda y permitir la rotación de hornos. El carbón es utilizado para mantener las temperaturas en los hornos que producen el clínker, junto con el carbón también se incorporan una serie de otros materiales combustibles como desperdicios agrícolas y neumáticos. A su vez el diesel se ocupa principalmente para transporte interno.

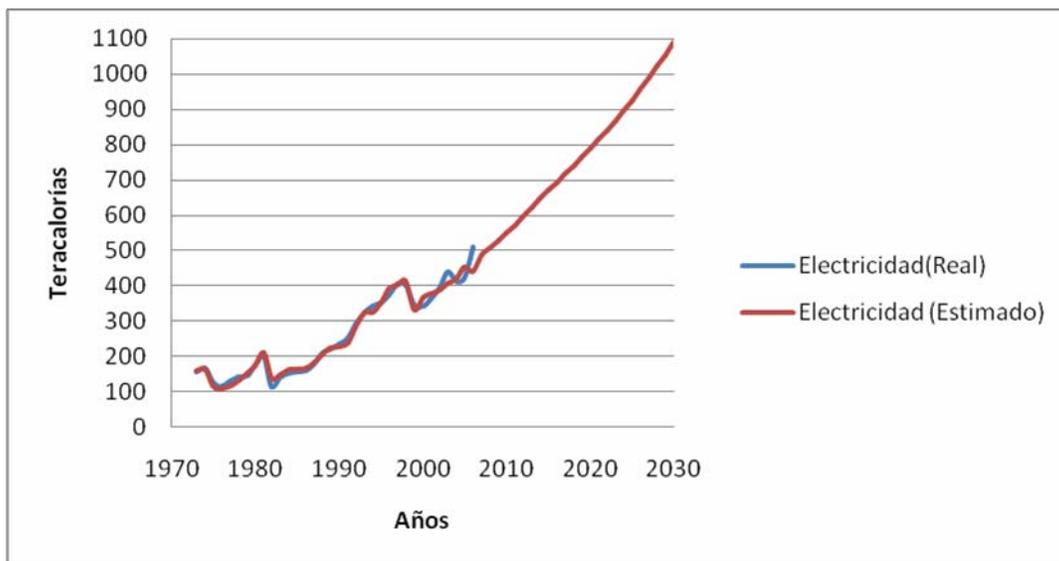
Consumo de Electricidad del Subsector Cemento

El consumo histórico de Electricidad de este subsector muestra un buen ajuste con la producción de cemento por lo que se utilizan los datos históricos de este sub sector para estimar el modelo de consumo de electricidad²⁶. El consumo de electricidad del subsector Cemento queda modelado por la siguiente función²⁷:

$$elect_t = -1.38 + 0.89 \cdot prod\ cemento_t + s_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cemento, se presenta la estimación y proyección del consumo de electricidad.

Figura 48: Curva real y estimada de consumo de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de electricidad presenta un buen ajuste con el consumo real de electricidad²⁸. Los datos históricos muestran que en el período 1982-2006 el incremento promedio anual del consumo de electricidad de este subsector fue de un 6.4%. Mientras que para el período 2006-2030 la modelación refleja un crecimiento promedio anual de un 3.8%.

²⁶ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

²⁷ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

²⁸ Para la información histórica disponible para este consumo.

Consumo de Carbón del Subsector Cemento

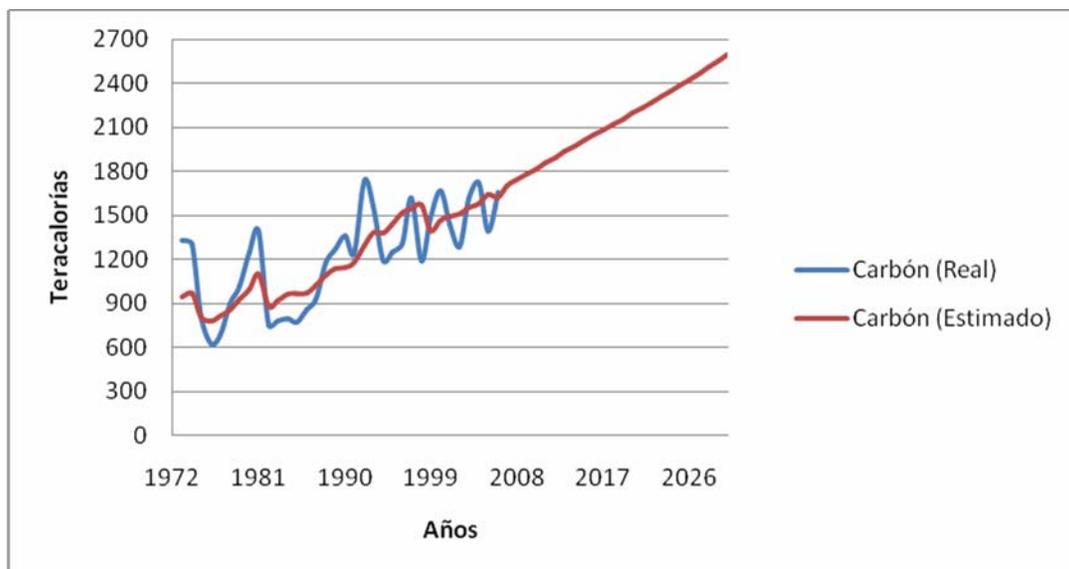
El consumo histórico de Carbón de este subsector también presenta un buen ajuste con la producción de cemento. Por ello se estima el modelo de consumo de carbón utilizando los datos históricos de producción para este subsector²⁹.

El consumo de carbón del subsector Cemento queda modelado por la siguiente función³⁰:

$$\text{carbon}_t = 4.86 + 0.29 \cdot \text{prod cemento}_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cemento, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de carbón.

Figura 49: Curva real y estimada de consumo de Carbón



Fuente: Elaboración Propia

El modelo de consumo de carbón presenta un buen ajuste de largo plazo con la tendencia del consumo real de carbón. En el período 1982-2006 el consumo de carbón aumentó un 3.3% promedio anual mientras que entre los años 2006 y 2030 se espera un aumento del 1.2% anual.

²⁹ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

³⁰ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

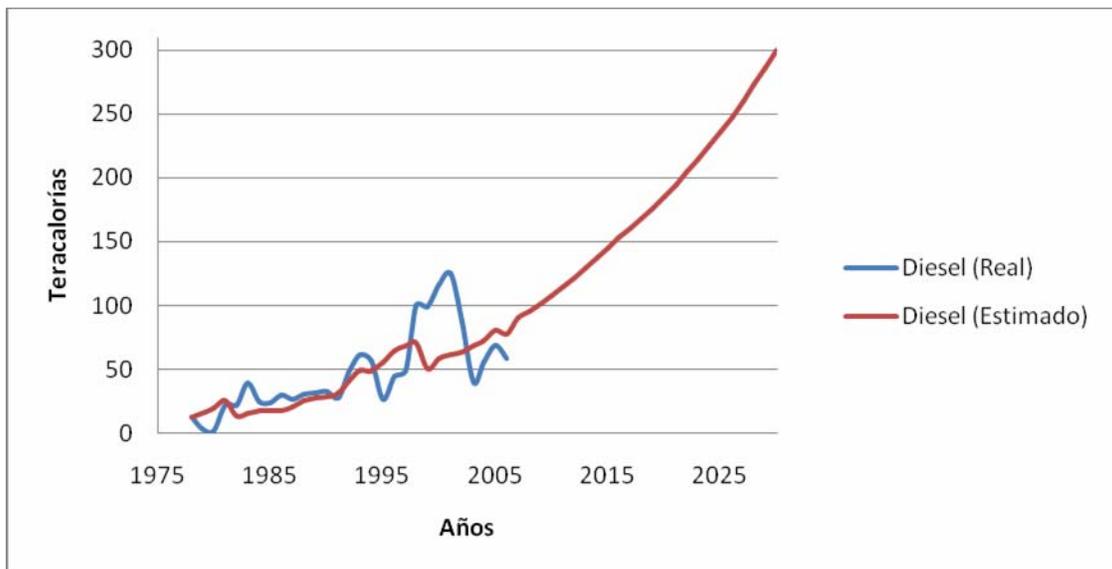
Consumo de Diesel del Subsector Cemento

Análogamente a los casos anteriores el consumo histórico de Diesel presenta un buen ajuste con la producción de cemento. Por ello se utilizan los datos históricos de este subsector para estimar el modelo de consumo de diesel³¹, el que se modela por la siguiente función³²:

$$\text{diesel}_t = -7.025 + 1.36 \cdot \text{prod cemento}_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cemento, se presenta la estimación y proyección del consumo de Diesel.

Figura 50: Curva real y estimada de consumo de Diesel



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de diesel presenta un buen ajuste de largo plazo con el consumo real de diesel (obviando las fluctuaciones de corto plazo). En este caso el crecimiento esperado para el período 2006-2030 es de un 5.8% promedio anual lo que es superior a la tasa histórica, ya que entre los años 1982 y 2006 se creció a una tasa promedio anual de un 4.1%.

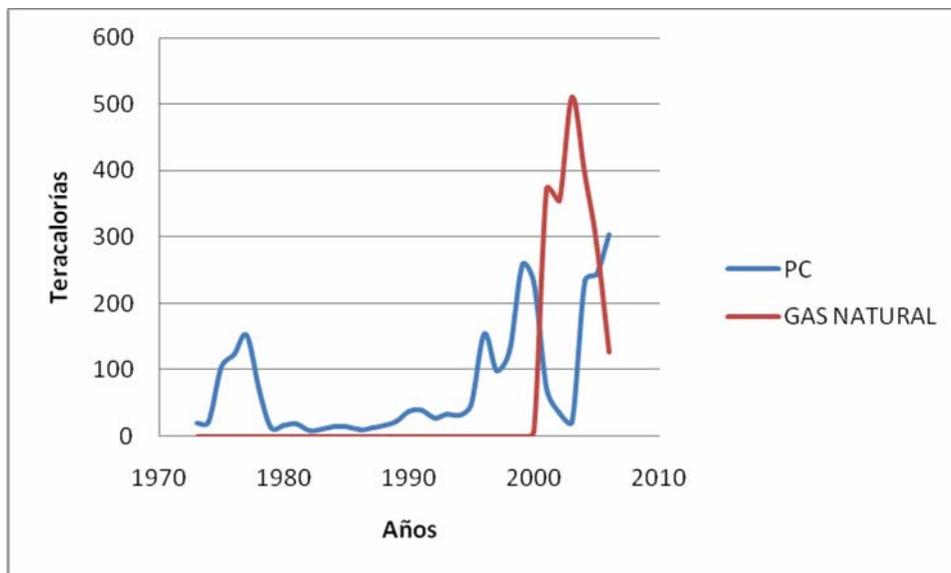
³¹ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

³² Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

Consumo de Petróleos combustibles y Gas Natural del Subsector Cemento

El gas natural y el petróleo combustible son sustitutos muy cercanos para el subsector cemento, esto se ilustra en la figura 51. Por ello el consumo de ambos energéticos se modela de conjuntamente y luego se desagregan ambos consumos utilizando criterios de disponibilidad futura. En base a opinión experta del subsector se asume que el consumo de gas natural se mantiene constante a partir del año 2006.

Figura 51. Evolución de los consumos de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

Utilizando los datos históricos de gas natural y petróleos combustibles para este subsector se estima el modelo de consumo respectivo³³, el que es representado por la siguiente función³⁴:

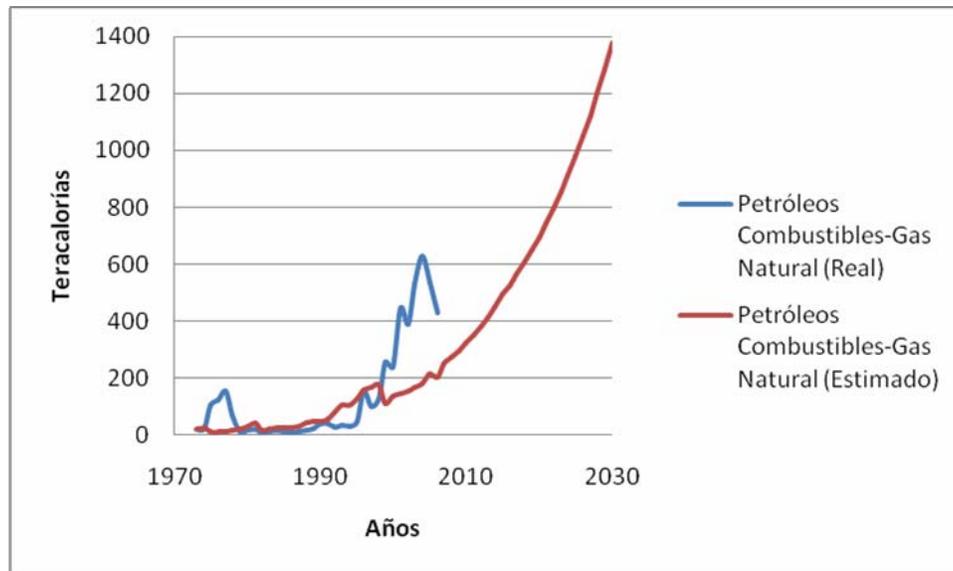
$$pc \text{ y } gn_t = -10.81 + 1.93 \cdot prod \text{ cemento}_t + \varepsilon_t$$

Utilizando la estimación anterior y la producción futura cemento, se presenta en el siguiente gráfico la estimación y proyección del consumo de petróleos combustibles y gas natural.

³³ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

³⁴ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

Figura 52: Curva real y estimada de consumo de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

La estimación desarrollada para petróleos combustibles se aproxima bien hasta el año 1998, a partir del siguiente año el modelo no se ajusta bien en el corto plazo. Sin embargo, este modelo establece una tendencia de largo plazo eliminando fluctuaciones corto placistas. Con respecto a esto último se aprecia que en el período 1982-2006 la tasa de crecimiento promedio anual registrada fue de un 17%, influenciada fuertemente por el explosivo aumento del consumo observado entre los años 1999 y 2005. Sin embargo, el modelo proyecta que entre los años 2006 el 2030 el consumo aumentará a una tasa del 8% promedio anual.

Consumo de Otros Energéticos del Subsector Cemento

El consumo de Otros energéticos en la industria del Cemento incorpora el consumo de Gas licuado y Coke, lo que equivale al 8% del consumo de este sector. Dado que el consumo histórico de otros energéticos en este subsector presenta un buen ajuste con la producción de cemento, se estima el modelo de consumo empleando los datos históricos de producción para este subsector³⁵.

El consumo de otros energéticos del subsector Cemento queda modelado por la siguiente función³⁶:

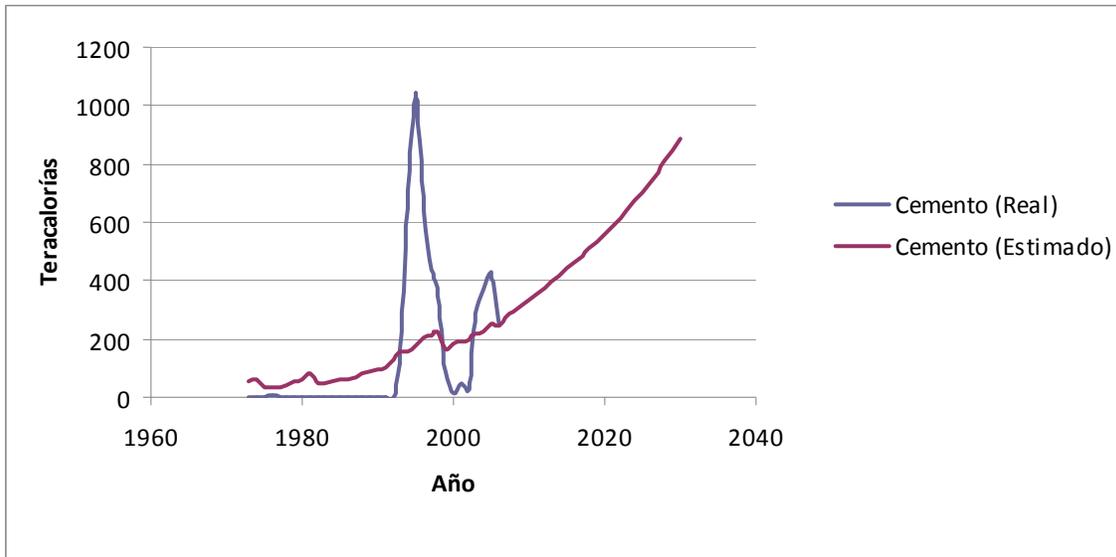
$$otros_t = -5.4 + 1.3 \cdot prod\ cemento_t + \varepsilon_t$$

³⁵ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

³⁶ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a esta estimación y la proyección futura de la producción de cemento, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de carbón.

Figura 53: Curva real y estimada de consumo de Otros energéticos



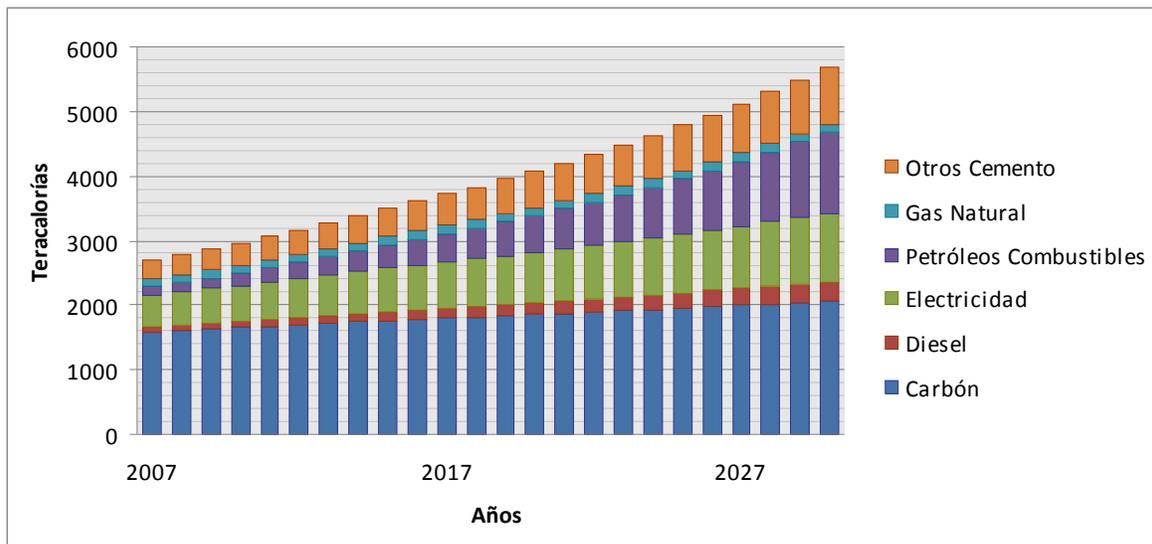
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, los datos estimados no se ajustan a los reales, dado que el modelo no capta fluctuaciones de corto plazo. La tasa de crecimiento calculada con datos históricos durante el período 1993-2006 es de 5,8%, mientras que el crecimiento promedio anual estimado por el modelo es de 3,5% para el mismo período. Con respecto a la proyección, se estima una tasa de 5,5% de crecimiento promedio anual durante el período 2006-2030. Dado que la participación de otros energéticos en el consumo total del subsector para el año 2006 es de un 8%, una reevaluación del modelo de estimación resultaría útil para aumentar la confiabilidad de las proyecciones en estudios futuros.

Resumen de Consumos Energéticos en Cemento

Agregando las distintas estimaciones las estimaciones (2007-2030) en conjunto para los distintos consumos del subsector cemento, esto se muestra en la siguiente figura:

Figura 54: Consumos Cemento



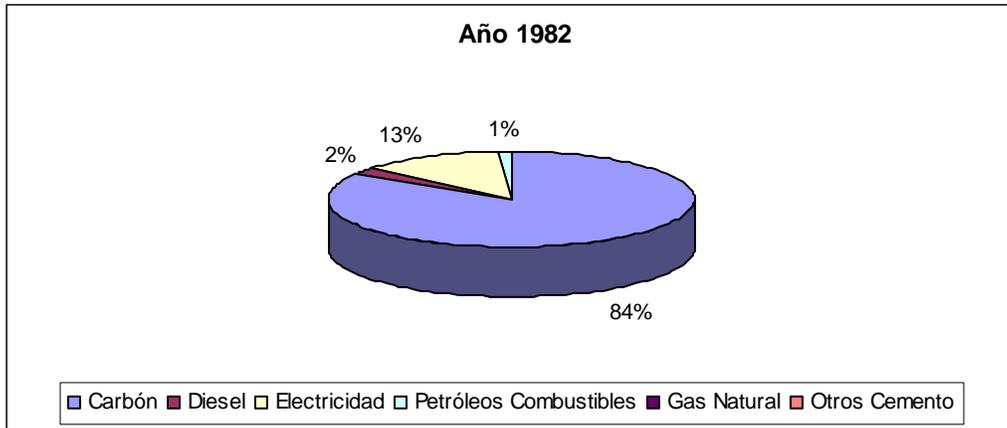
Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de 2.9% en el consumo total de energía para el subsector Cemento durante el período 2006-2030. Esto implica una disminución con respecto al crecimiento de un 5% generado en el período 1982-2006.

Entre los años 1982 y 2006 la estructura del consumo cambia considerablemente. El consumo relativo de carbón disminuye de 84% a 54%, debido principalmente al aumento de la importancia relativa del petróleo combustible (con un aumento de 1% a 11%), de la electricidad (con un aumento de 13% a 18%) y de gas natural y otros energéticos.

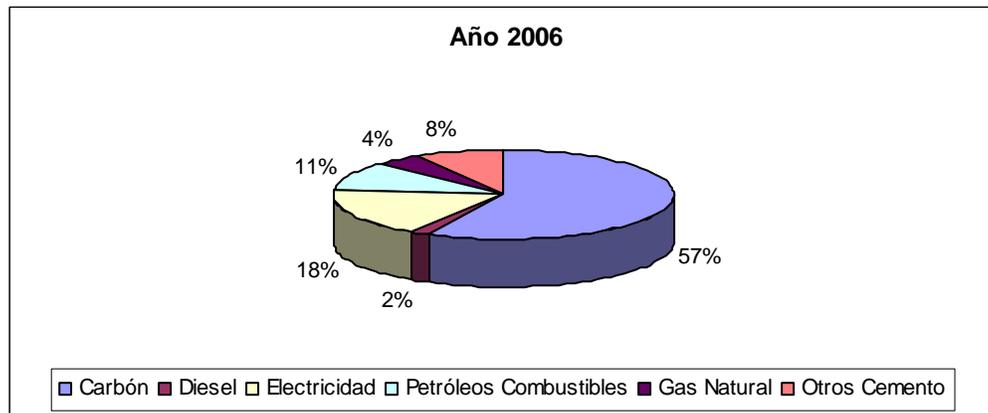
Para el año 2030 se espera que el carbón continúe perdiendo importancia, disminuyendo su participación a un 36%. Se espera asimismo una disminución del consumo relativo de gas natural. Entre los energéticos que aumentan su importancia relativa destacan petróleos combustibles (aumentando de 11% en el 2006 a 22% en el 2030), y de otros energéticos (con un aumento de 8% a 16% en el período 2006-2030).

Figura 55: Estructura de consumo energético en cemento, año 1982



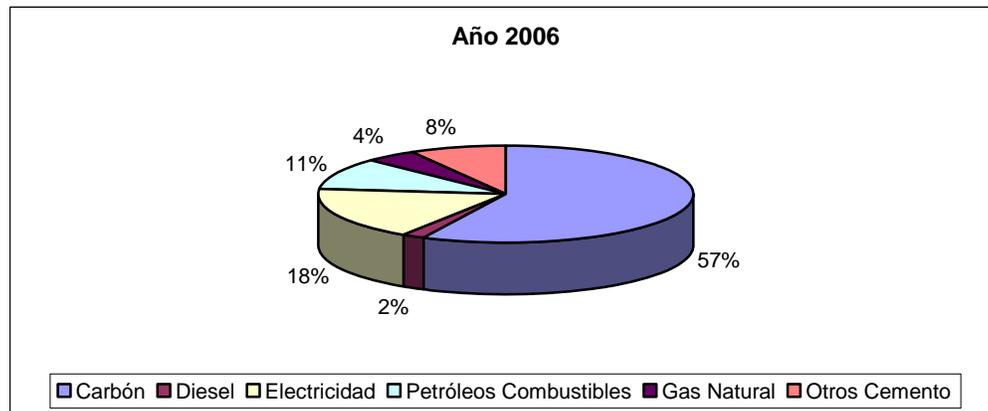
Fuente: Elaboración Propia

Figura 56: Estructura de consumo energético en cemento, año 2006



Fuente: Elaboración Propia

Figura 57: Estructura de consumo energético en cemento, año 2006



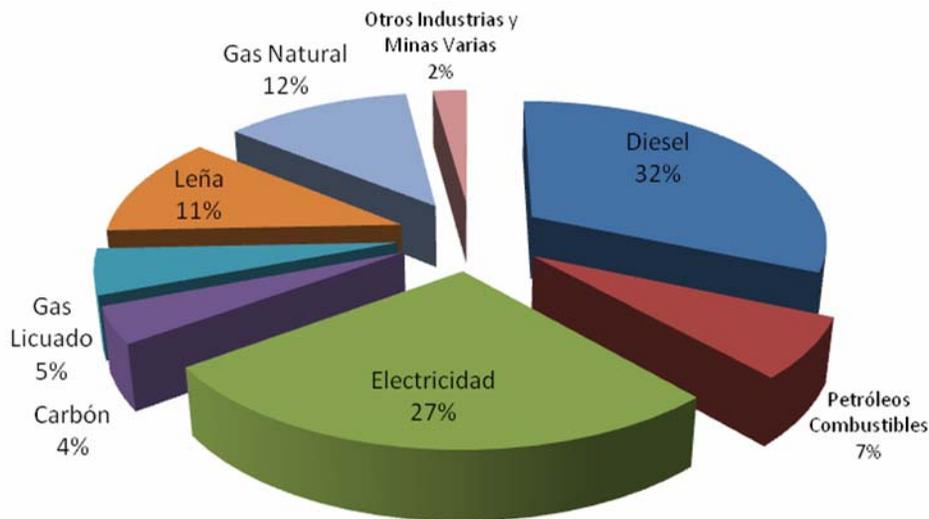
Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.4 Subsector Industrias y Minas Varias

Los consumos energéticos del subsector Industrias y minas varias se relacionan de manera directa con el aumento de la población y del ingreso per cápita, variables que a su vez son resumidas por el nivel de actividad de la economía. Dado esto, y considerando que el PIB es un buen indicador de la actividad económica, se emplea este último como variable explicativa en la proyección de largo plazo del consumo energético.

Los energéticos que se consumen en el subsector Industrias y Minas Varias son leña, electricidad, gas licuado y natural, carbón y petróleos combustibles. Como se muestra en la siguiente figura, la electricidad y el diesel representan en conjunto un 60% del consumo.

Figura 58: Consumo Industrias y Minas Varias



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

Con respecto al grado de sustitución de los insumos energéticos, existe una fuerte sustitución entre gas natural y petróleos combustibles, y una menor entre gas natural, diesel y leña. Aunque se desconoce el alcance de una futura restricción de leña, se espera que su consumo tienda a estabilizarse y que sea sustituida por diesel, carbón, petróleos combustibles y gas.

Consumo de Electricidad del Subsector Industrias y Minas Varias

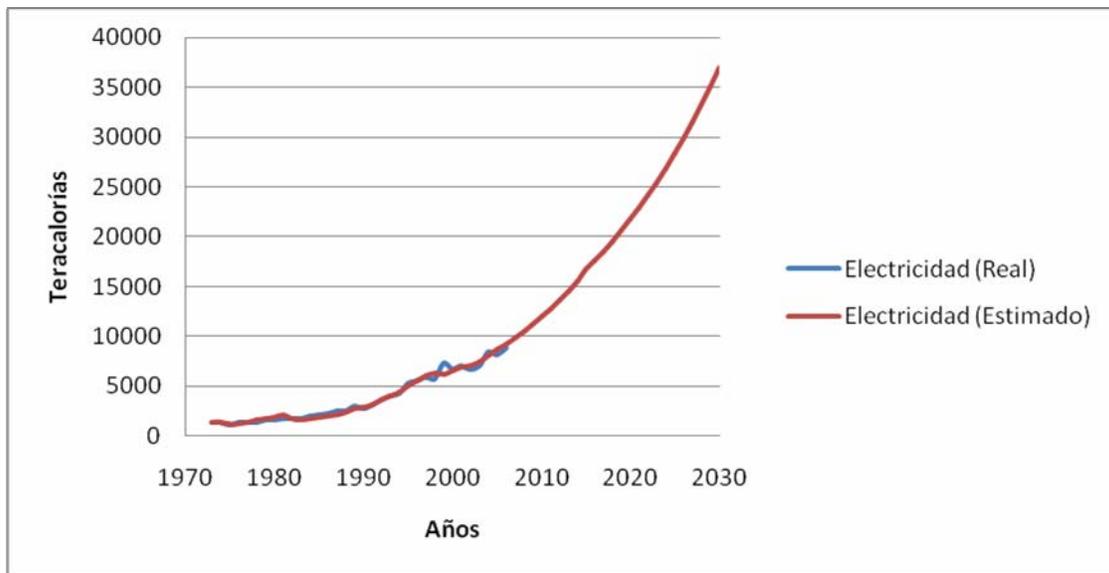
Dado que el consumo histórico de Electricidad muestra un buen ajuste con el nivel de actividad, se emplean los datos históricos del subsector para estimar el modelo de consumo de electricidad³⁷.

El consumo de electricidad del subsector Industrias y minas varias queda modelado, entonces, por la siguiente función³⁸:

$$elect_t = -6.84 + 1.45 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de Electricidad.

Figura 59: Curva real y estimada de consumo de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo presenta un buen ajuste con el consumo real de electricidad³⁹. Los datos históricos muestran un incremento promedio anual de 7,1% del consumo de electricidad en el subsector, entre los años 1982 y 2006. Por su parte, la modelación refleja un crecimiento promedio anual de 6,8% en el período 2006-2030

³⁷ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

³⁸ Donde todas las variables están como logaritmos naturales.

³⁹ Dada la información histórica disponible

Consumo de Diesel del Subsector Industrias y Minas Varias

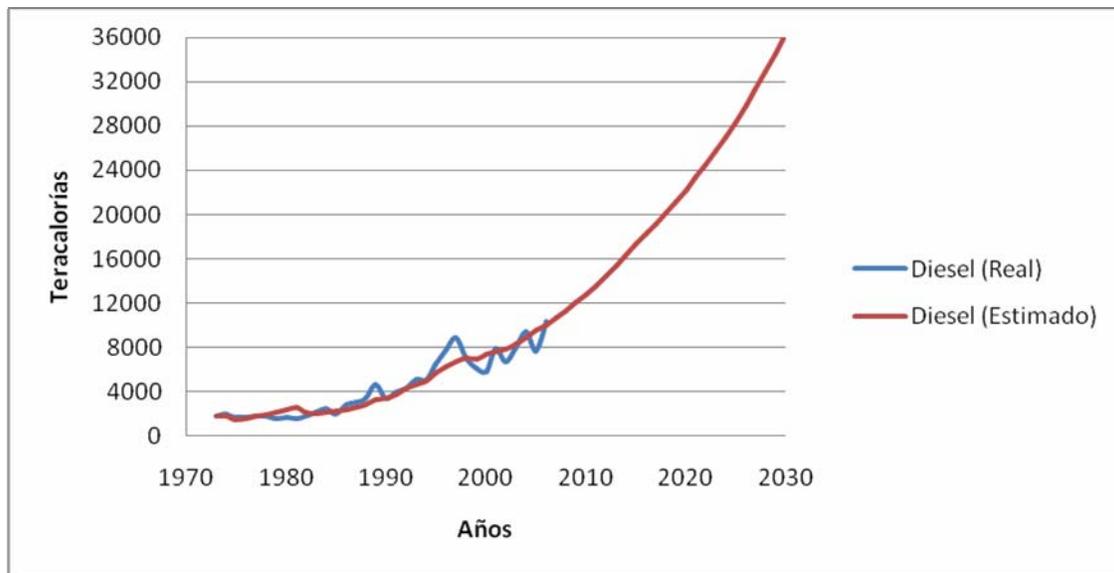
Dado que el consumo histórico de Diesel de este subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad, se utilizan los datos históricos para estimar el modelo de consumo de diesel⁴⁰.

El consumo de diesel del subsector Industrias y Minas Varias queda modelado por la siguiente función⁴¹:

$$\text{diesel}_t = -4.98 + 1.25 \cdot \text{piib}_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de Diesel.

Figura 60: Curva real y estimada de consumo de Diesel



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de diesel presenta un buen ajuste con el consumo real⁴². Los datos históricos muestran un incremento promedio anual de 7,6% en el consumo de diesel durante el período 1982-2006. Por su parte, de acuerdo a la modelación, se espera un crecimiento promedio anual de 5,3% durante el período 2006-2030.

⁴⁰ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁴¹ Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

⁴² Dada la información histórica disponible

Consumo de Gas licuado del Subsector Industrias y Minas Varias

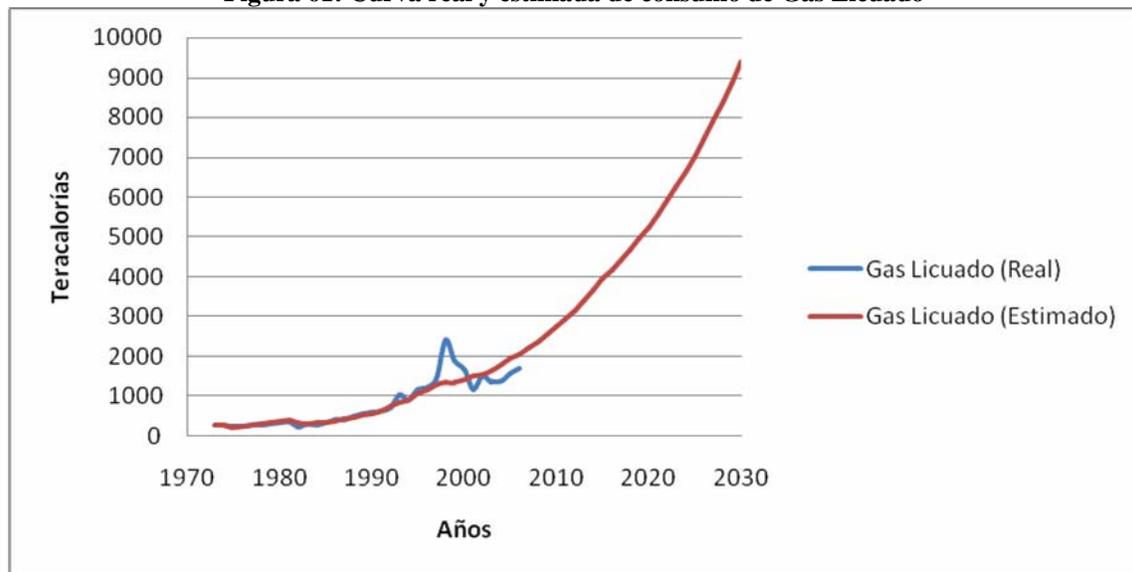
El consumo histórico de gas licuado del subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad. En consecuencia, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo⁴³.

El consumo de gas licuado del subsector Industrias y minas varias queda modelado por la siguiente función⁴⁴:

$$gl_t = -8.64 + 1.48 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de gas licuado.

Figura 61: Curva real y estimada de consumo de Gas Licuado



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de gas licuado tiene un buen ajuste con el consumo real de gas licuado⁴⁵. De acuerdo a los datos históricos, entre 1982 y 2006 el consumo presenta un aumento promedio anual de 8,6%. Adicionalmente, de acuerdo a la proyección del consumo, se espera en el período 2006-2030 un incremento promedio anual de 6,5%

⁴³ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

⁴⁴ Todas las variables están expresadas en logaritmos naturales.

⁴⁵ Dada la información histórica disponible para este consumo

Consumo de Carbón del Subsector Industrias y Minas Varias

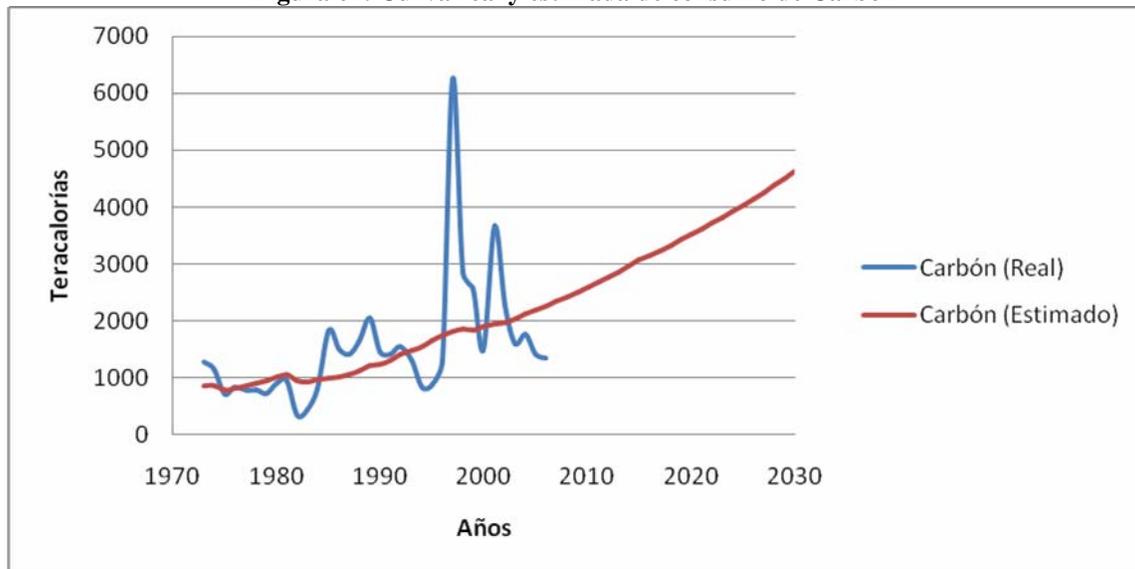
El consumo histórico de carbón de este subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad, por lo que se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo de carbón⁴⁶.

El consumo de carbón del subsector Industrias y minas varias queda modelado por la siguiente función⁴⁷:

$$\text{carbon}_t = 2.79 + 0.43 \cdot \text{pib}_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad discutida en una sección anterior, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de carbón.

Figura 62: Curva real y estimada de consumo de Carbón



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura, la estimación del consumo de carbón no se ajusta a los datos históricos en el corto plazo, dado que el modelo empleado no registra las fluctuaciones. Sin embargo, el modelo permite establecer una tendencia de crecimiento del consumo en el largo plazo. De acuerdo a los datos históricos, el consumo de carbón en el período 1982-2006 presenta una tasa de crecimiento anual de 5,81%, mientras que la estimación determina que el consumo aumentará en el período 2006-2030 a una tasa promedio anual de 1,9%.

⁴⁶ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4

⁴⁷ Todas las variables están en logaritmo natural

Consumo de Leña del Subsector Industrias y Minas Varias

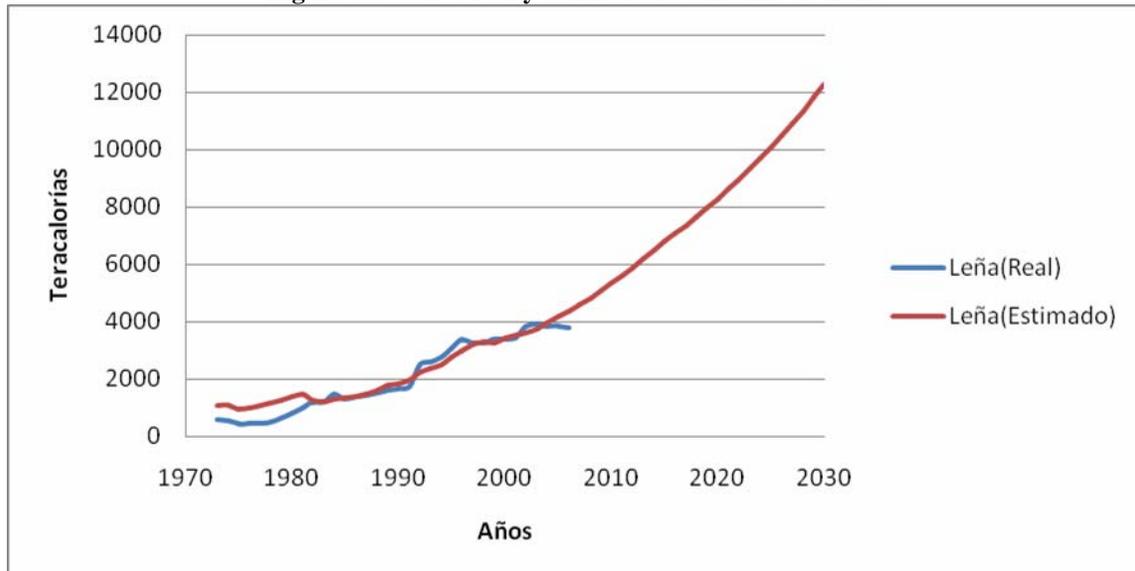
Dado que el consumo histórico de leña en este subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo de leña⁴⁸.

El consumo de leña del subsector Industrias y minas varias queda modelado por la siguiente función⁴⁹:

$$\text{leña}_t = -4.99 + 1.22 \cdot \text{pib}_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de leña.

Figura 63: Curva real y estimada de consumo de Leña



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de leña tiene un buen ajuste con el consumo real⁵⁰. Según los datos históricos, entre 1982 y 2006 el consumo presenta un incremento promedio anual del 4,9%. Por otra parte, se proyecta un aumento promedio anual de 5,3% entre 2006 y 2030.

⁴⁸ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

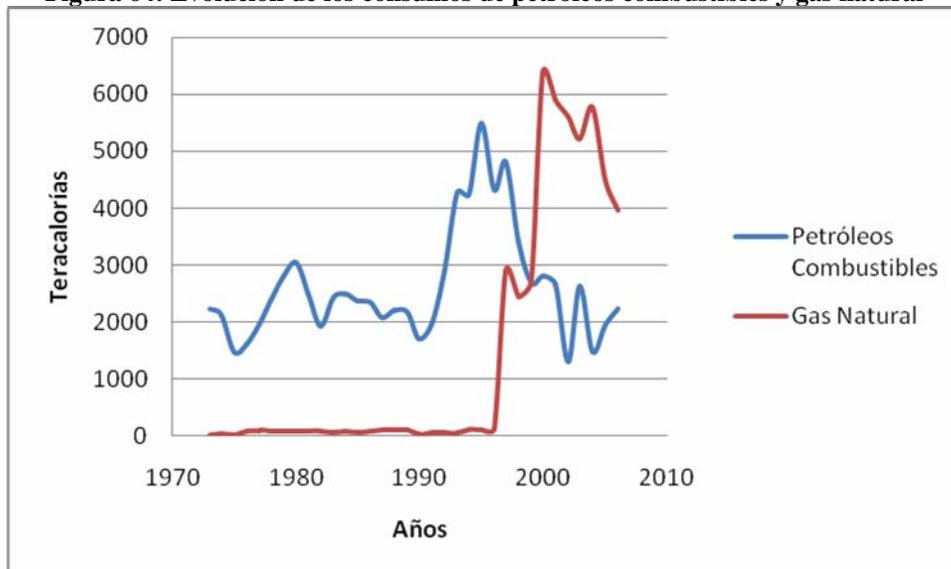
⁴⁹ Todas las variables están expresadas en logaritmo natural.

⁵⁰ Dada la información histórica disponible para este consumo.

Consumo de Petróleos combustibles y Gas Natural del Subsector Industrias y Minas Varias

Como se puede apreciar en la figura 63, donde se muestra la evolución del consumo de gas natural y petróleo combustible en el subsector, ambos energéticos son sustitutos muy cercanos. En consecuencia, el consumo de ambos se modela de manera conjunta, y luego se desagrega en base a criterios que estiman la disponibilidad futura de estos combustibles. De acuerdo a opinión experta, se asume que el consumo de gas natural se mantiene constante a partir del año 2006.

Figura 64: Evolución de los consumos de petróleos combustibles y gas natural



Fuente: Elaboración Propia

Dado que el consumo histórico de gas natural y petróleos combustibles en el subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo respectivo⁵¹.

El consumo de petróleos combustibles y gas natural del subsector Industrias y minas varias queda modelado por la siguiente función⁵²:

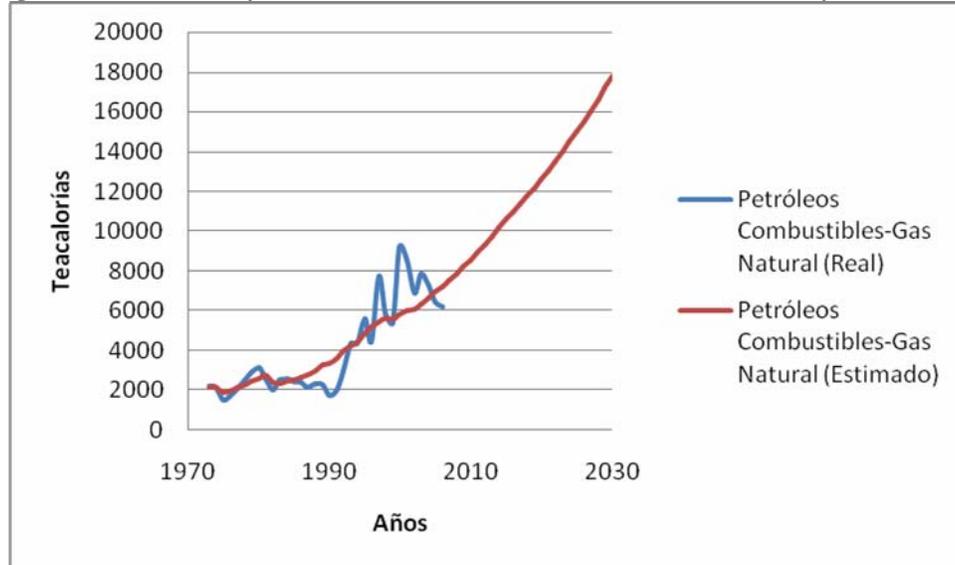
$$pc_y_gn_t = -0.88 + 0.89 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

En base a la estimación conjunta realizada y la proyección futura del nivel de actividad, discutida en una sección anterior, se presenta en el siguiente gráfico la estimación y proyección del consumo de petróleos combustibles y gas natural.

⁵¹ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁵² Todas las variables están expresadas en logaritmo natural.

Figura 65: Curva real y estimada de consumo de Petróleos Combustibles y Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, existe un buen ajuste entre el consumo real y el modelado, si bien este último no registra fluctuaciones de corto plazo. Lo anterior permite realizar proyecciones basadas en la información histórica disponible.

De acuerdo a los datos históricos, el consumo de ambos combustibles presenta un aumento promedio anual de 4,8% entre los años 1982 y 2006. Por su parte, la proyección entre los años 2006 y 2030 revela un incremento promedio anual de 3,9% en el consumo de petróleo combustibles y gas natural en el subsector.

Consumo de Otros Energéticos del Subsector Industrias y Minas Varias

En este sector Otros sectores energéticos incluyen el consumo de Kerosene, Nafta, Coke y Metanol lo que equivale al 2% del consumo total de este sector. El consumo histórico de otros energéticos en este subsector muestra un buen ajuste con el nivel de actividad. Dado esto, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo⁵³.

El consumo de otros energéticos en el subsector Industrias y minas varias queda modelado por la siguiente función⁵⁴:

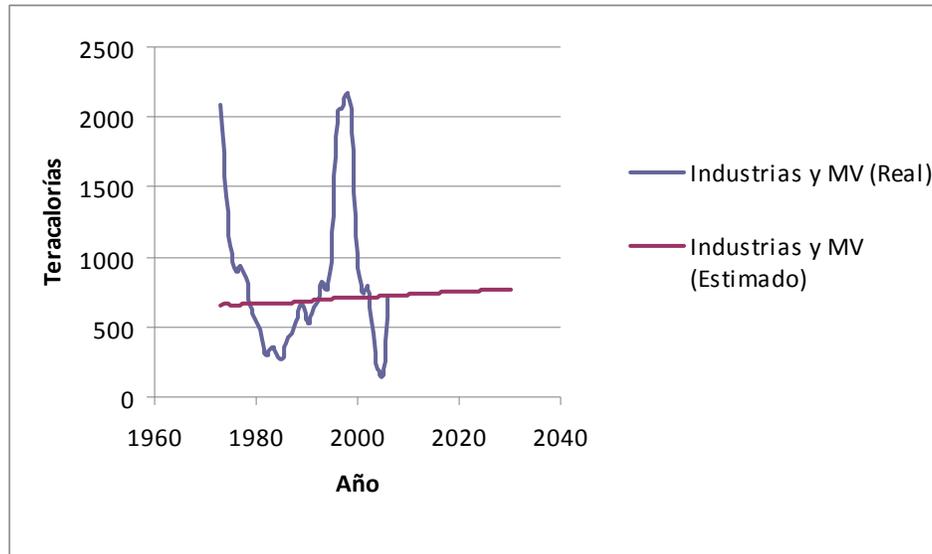
$$otros_t = 5.7 + 0.07 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

⁵³ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁵⁴ Todas las variables están expresadas en logaritmo natural.

En base a esta estimación y la proyección futura del nivel de actividad, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de otros energéticos.

Figura 66: Curva real y estimada de consumo de Otros energéticos



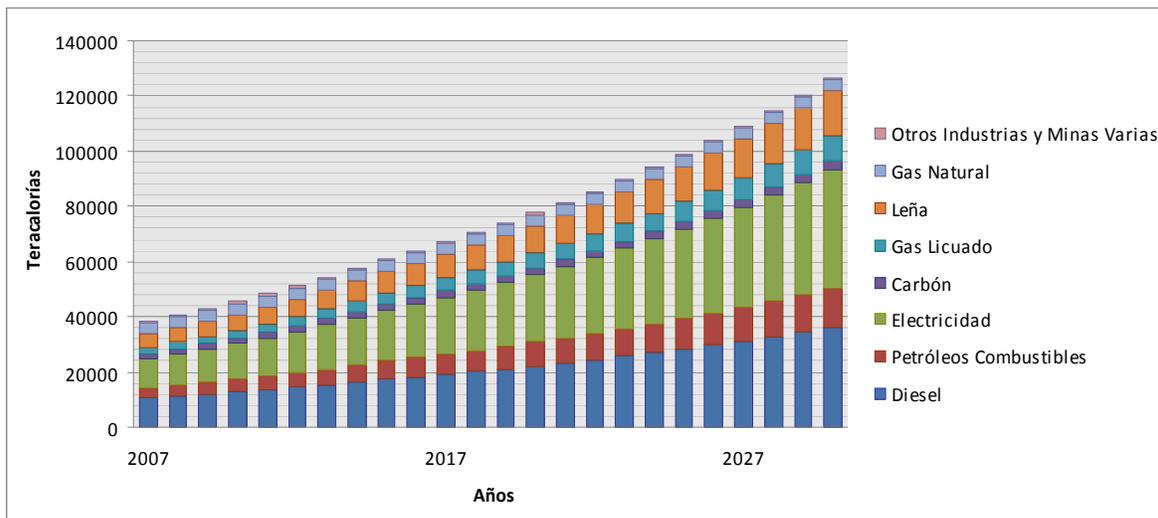
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, no existe un buen ajuste entre el consumo real y el modelado. La tasa de crecimiento promedio anual calculada con datos reales para el período 1982-2006 es de 3,7%, mientras que la tasa estimada por el modelo es de 0,33% para el mismo período. Existe, por lo tanto, una baja confiabilidad en el consumo proyectado para el período 2006-2030 (se estima una tasa de 0,27% de incremento promedio anual). Dada la poca importancia relativa del consumo de otros energéticos en el subsector Industria y minas varias (para el 2006, el consumo de otros energéticos representa un 2% del consumo total) no se ha considerado efectuar una revisión del modelo proyectivo. No obstante, resultaría necesaria en estudios posteriores, a fin de mejorar la proyección del consumo energético en el subsector.

Resumen de Consumos Energéticos en Industrias y Minas Varias

En la siguiente figura se grafican las estimaciones (2007-2030) de los distintos consumos del subsector industrias y minas varias.

Figura 67: Consumos Industrias y Minas Varias



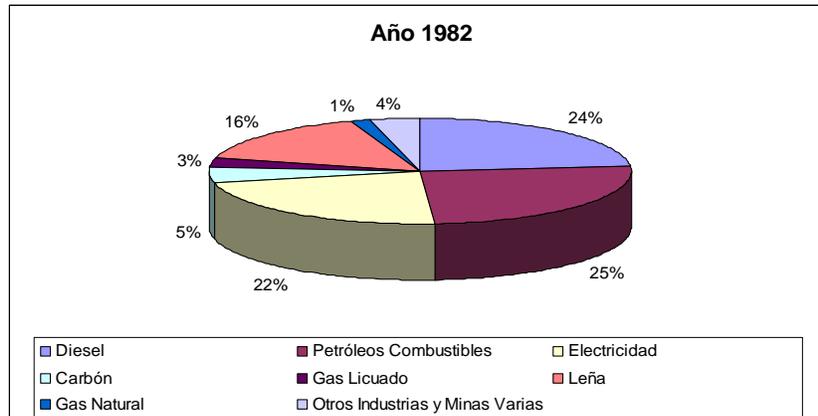
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran un incremento promedio anual de un 6,3% en el consumo total de energía del subsector entre 1982 y 2006, mientras que en el período 2006-2030 el aumento del consumo ocurre a una tasa de 5,8%.

Con respecto a la evolución de la estructura de consumo en el subsector, entre los años 1982 y 2006 el consumo de gas natural aumenta considerablemente su importancia relativa, sustituyendo parcialmente a la leña y los petróleos combustibles. En efecto, en las figuras siguientes se observa que el consumo relativo de leña disminuye desde 16% a 11% y el de petróleos combustibles disminuye de 25% a 7%, mientras que el consumo relativo de gas natural aumenta desde 1% hasta 12%.

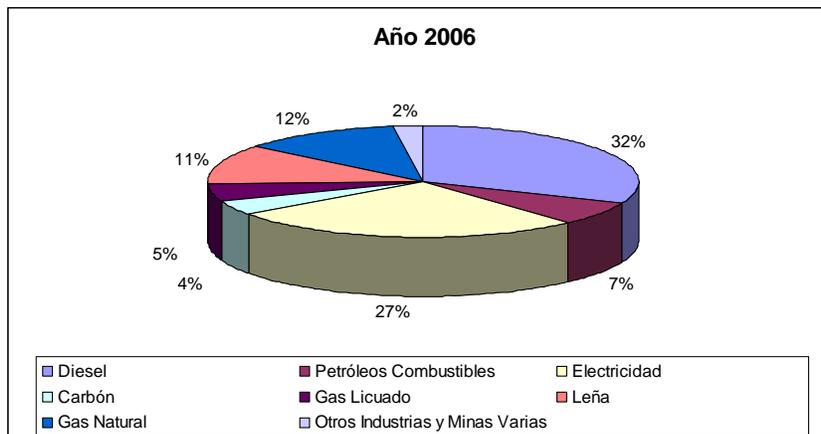
Los consumos de gas licuado, diesel y electricidad también aumentan su importancia relativa, pero en menor grado (de 3% a 5%, de 24% a 32% y de 22% a 27% respectivamente), mientras que el carbón disminuye levemente su importancia relativa (de 5% a 4%). Entre el 2006 y el 2030 se proyecta que la estructura del consumo energético varíe hacia una disminución del consumo relativo del gas natural (de 12% a 3%), así como también del carbón (de 4% a 2%) y del diesel (de 32% a 29%), con un consecuente aumento del consumo relativo de petróleos combustibles (de 7% a 11%), electricidad (de 27% a 34%) y leña (de 11% a 13%).

Figura 68: Estructura de consumo energético en Industria y minas varias, año 1982



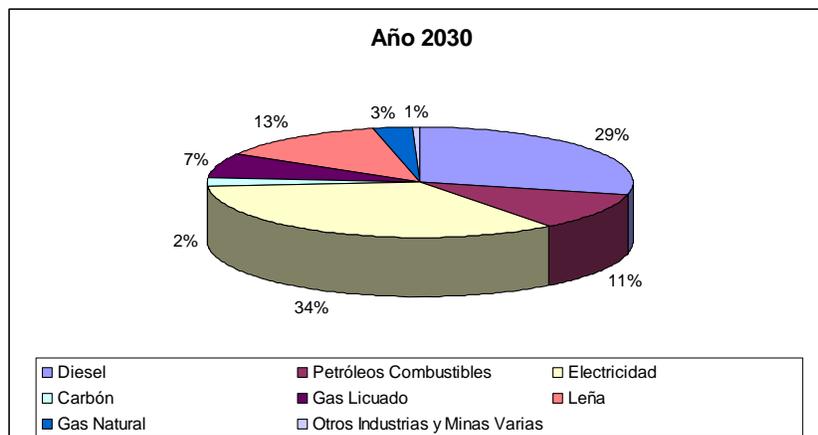
Fuente: Elaboración Propia

Figura 69: Estructura de consumo energético en Industria y minas varias, año 2006



Fuente: Elaboración Propia

Figura 70: Estructura de consumo energético en Industria y minas varias, año 2030



Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.5 Otros sectores

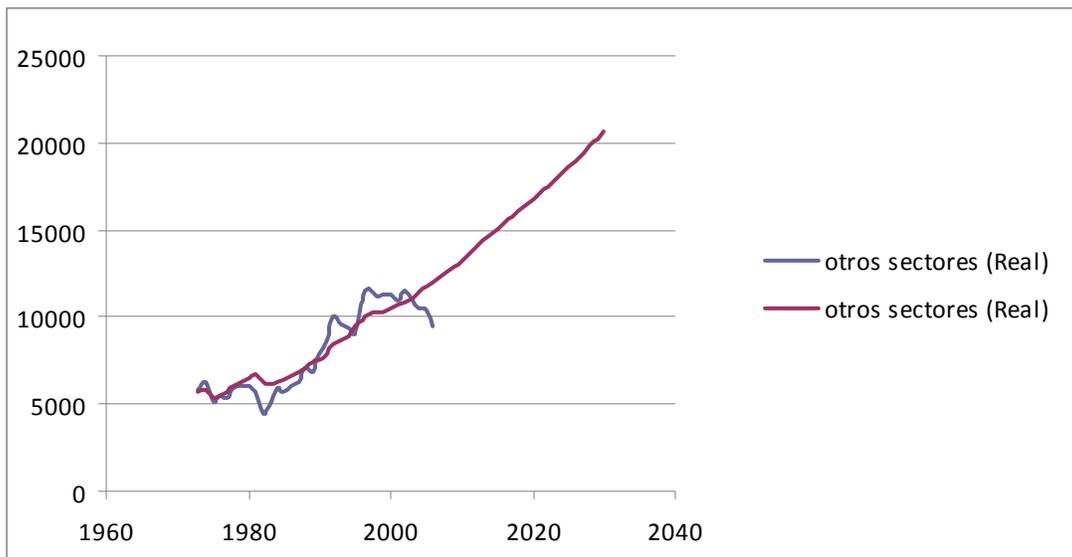
El sector “Otros sectores” esta compuesto por los sectores de salitre, hierro, siderurgica, petroquímica, azucar y pesca. El consumo de energéticos de “otros sectores” corresponde al 11% del consumo total del sector Industrial y minero.

Debido a su tamaño es que los consumos de los distintos energéticos serán proyectados en forma conjunta y serán modelados utilizando el PIB como variable explicativa. A continuación se muestra el modelo seleccionado.

$$\text{otrosconsumos}_i = 3.6 + 0.5 \cdot \text{pib}_i + \varepsilon_i$$

A continuación se muestra las estimaciones proyectadas del consumo de todos los energéticos para este sector

Figura 71: Curva real y estimada de consumo de Otros sectores



Fuente: Elaboración Propia

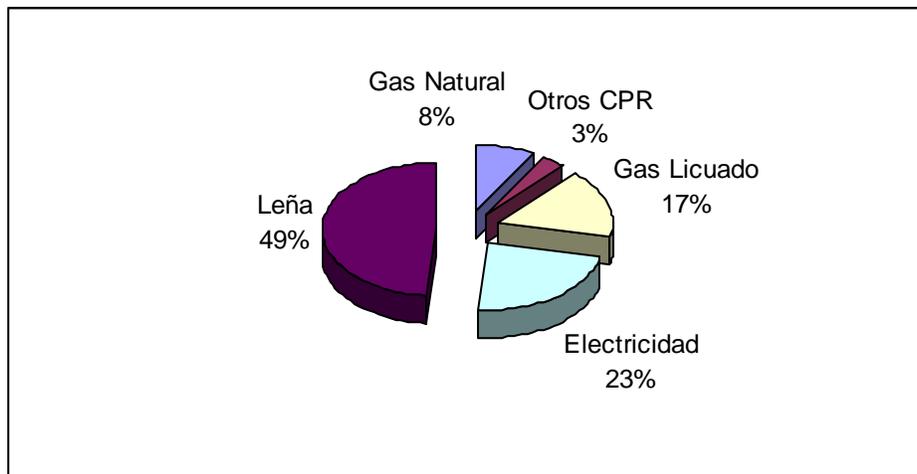
En este caso se aprecia que la tasa de crecimiento histórica en el período 1982-2006 fue de un 3,3% mientras que se espera un crecimiento promedio anual para el período 2006-2030 de un 2,3%.

3.4.2 Sector Comercial, Público y Residencial (CPR)

Los consumos energéticos del sector CPR se relacionan de manera directa con el aumento de la población y del ingreso per cápita, variables que a su vez son resumidas por el nivel de actividad de la economía. Dado esto, y considerando que el PIB es un buen indicador de la actividad económica, se emplea este último como variable explicativa en la proyección de largo plazo del consumo energético⁵⁵.

Los consumos energéticos de este subsector son básicamente leña, electricidad, gas licuado y gas natural. La siguiente figura presenta la importancia relativa de cada energético, destacando la leña con un 49% de participación en el consumo energético del sector.

Figura 72. Consumo Subsector CPR



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

Consumo de Electricidad del sector CPR

Dado que el consumo histórico de electricidad muestra un buen ajuste con el PIB, se emplean los datos históricos desde 1960 para estimar el modelo de consumo de electricidad⁵⁶. El consumo de Electricidad del sector CPR queda modelado por la siguiente función⁵⁷:

⁵⁵ Hay que considerar que el crecimiento del PIB también incorpora el crecimiento de la población dentro de otros factores. Por lo que no se considera explícitamente el crecimiento de la población dentro de la estimación.

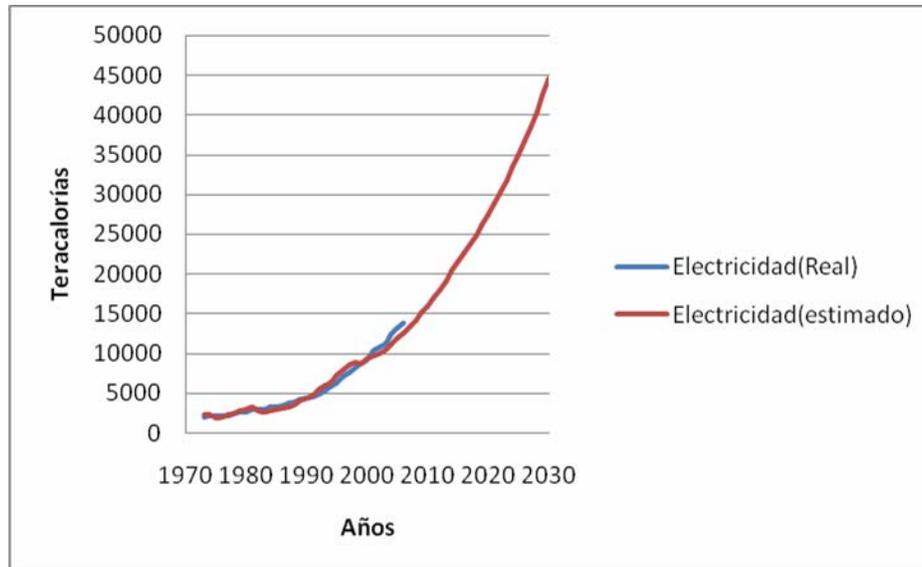
⁵⁶ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁵⁷ Todas las variables son logaritmos naturales

$$elect_t = -6.51 + 1.46 \cdot pib_t + e_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del PIB, se presenta en el siguiente gráfico la estimación y proyección del consumo de Electricidad.

Figura 73: Curva real y estimada de consumo de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, el consumo de electricidad estimado tiene un buen ajuste con el consumo real de electricidad, lo cual permite realizar proyecciones confiables, dados los datos históricos disponibles.

De acuerdo a los datos históricos, el consumo de electricidad presenta un aumento promedio anual de 6,53% entre los años 1982 y 2006. Por su parte, la proyección entre los años 2006 y 2030 revela un incremento promedio anual de 6,46% en el consumo eléctrico del subsector.

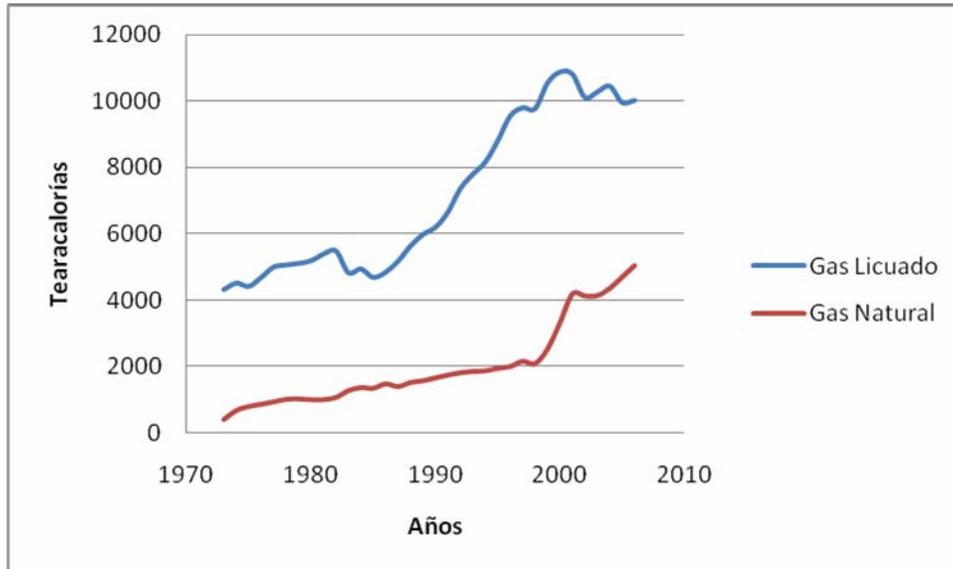
Consumo de Gas Natural y Gas Licuado del sector CPR

De acuerdo a la evolución histórica del consumo de estos energéticos en el sector CPR, se observa que el gas natural y el gas licuado son sustitutos muy cercanos. Debido a esto, su consumo se modela de manera conjunta, y luego se desagrega en base a criterios de la disponibilidad futura de ambos combustibles. De acuerdo a opinión experta del sector, se asume que el consumo de gas natural se mantiene constante a partir del año 2006.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución histórica de los consumos de gas natural y gas licuado en el subsector. Además de la sustitución entre ambos combustibles, se observa

que a partir de 1997 la tendencia del consumo de gas licuado se ve afectada por la aparición del gas natural.

Figura 74: Curvas de consumo de Gas Natural y Gas Licuado



Fuente: Elaboración Propia

Dado que el consumo histórico de gas natural y licuado en conjunto presentan un buen ajuste con el PIB, se emplean los datos históricos desde 1960 para estimar el modelo de consumo⁵⁸. El consumo de gas del sector CPR queda modelado por la siguiente función⁵⁹:

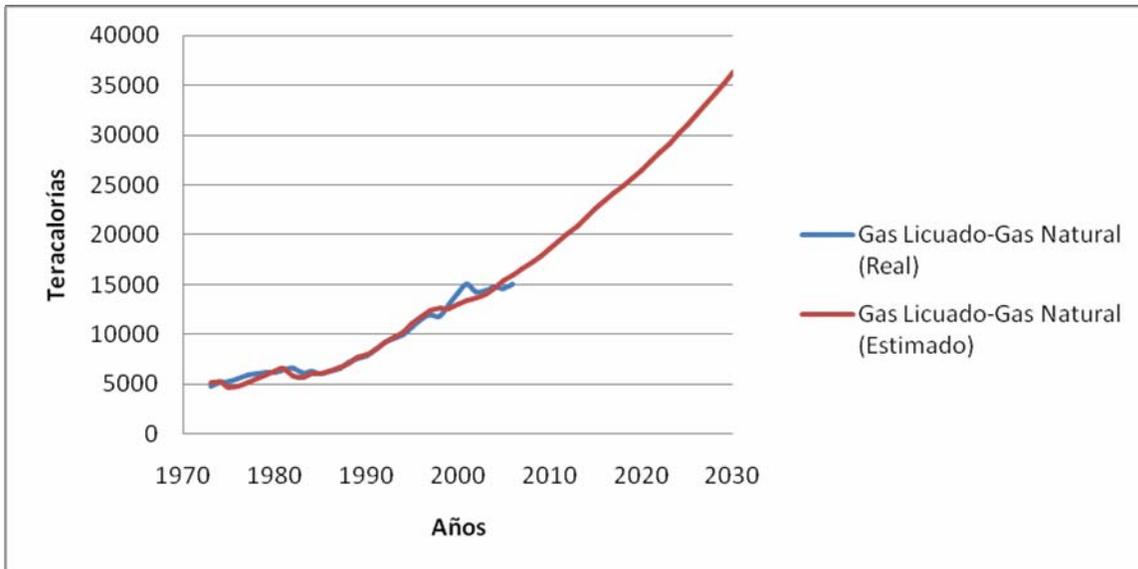
$$g_l \text{ y } g_n_t = 0.81 + 0.80 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

En base a la estimación conjunta realizada y la proyección futura del PIB se presenta en el siguiente gráfico la estimación y proyección del consumo de gas licuado y gas natural.

⁵⁸ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁵⁹ Todas las variables están como logaritmos naturales.

Figura 75: Curva real y estimada de consumo de Gas Licuado-Gas Natural



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, el consumo modelado se ajusta bastante al real, por lo que es posible realizar proyecciones confiables del consumo de gas con la información histórica disponible.

De acuerdo a los datos históricos, hay un incremento promedio anual de 3,5% en el consumo sectorial de estos combustibles, entre los años 1982 y 2006. Por su parte, el consumo proyectado por el modelo revela un aumento promedio anual de 3,3% para el período 2006-2030.

Consumo de Leña del sector CPR

El consumo histórico de leña de este sector muestra un buen ajuste con el PIB. En consecuencia, se emplean los datos históricos para estimar el modelo de consumo⁶⁰. El consumo de leña del sector CPR queda modelado por la siguiente función⁶¹:

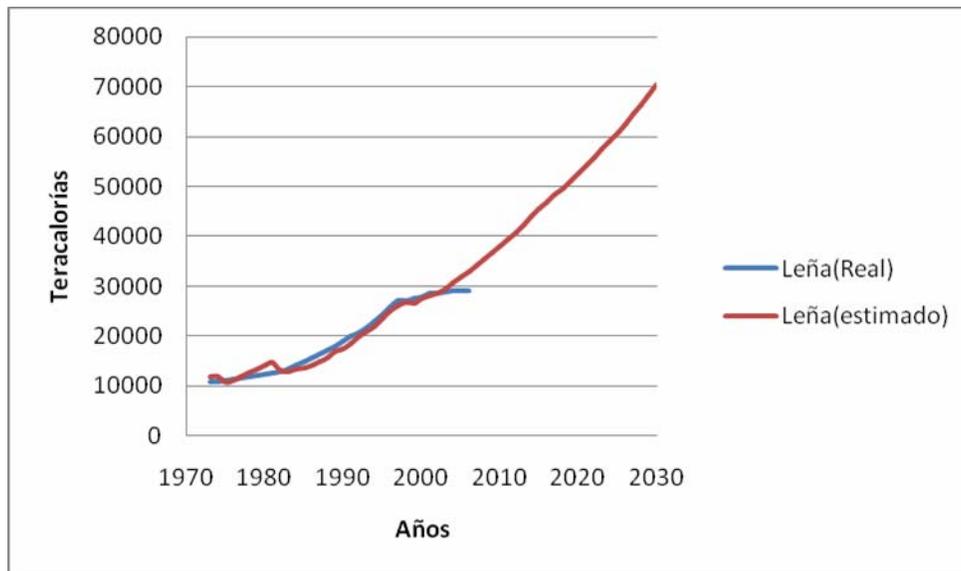
$$\text{leña}_t = 3.93 + 0.57 \cdot \text{pi}b_t + \varepsilon_t$$

En base a esta estimación y la proyección futura del PIB, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de leña.

⁶⁰ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁶¹ Todas las variables están como logaritmos naturales.

Figura 76: Curva real y estimada de consumo de Leña



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se desprende que el modelo de consumo de leña se ajusta bastante bien al consumo real, por lo que se emplea la información histórica disponible para efectuar las proyecciones.

De acuerdo a los datos históricos, el consumo de leña del sector CPR presenta un incremento promedio anual de 3,5%, durante el período comprendido entre 1982 y 2006. Por su parte, el consumo proyectado por el modelo muestra un aumento promedio anual de 2,5% para el período 2006-2030.

Consumo de Otros Energéticos del sector CPR

En este caso los otros energéticos considerados son Petróleo Combustibles, Kerosene, Diesel, Carbón y Gas Corriente, el consumo de estos energéticos equivale al 3% del consumo total en el año 2006. Empleando datos históricos para estimar el modelo de consumo⁶² de otros energéticos en el sector CPR, éste queda modelado por la siguiente función⁶³:

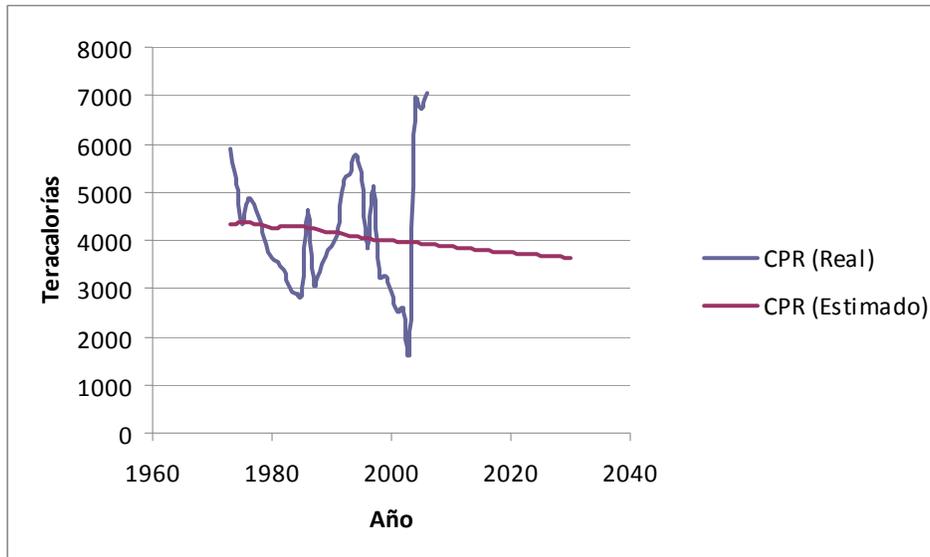
$$otros_t = 11.37 - 0.31 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

⁶² Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

⁶³ Todas las variables están como logaritmos naturales.

En base a esta estimación y la proyección futura del PIB, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de otros energéticos.

Figura 77: Curva real y estimada de consumo de Otros energéticos



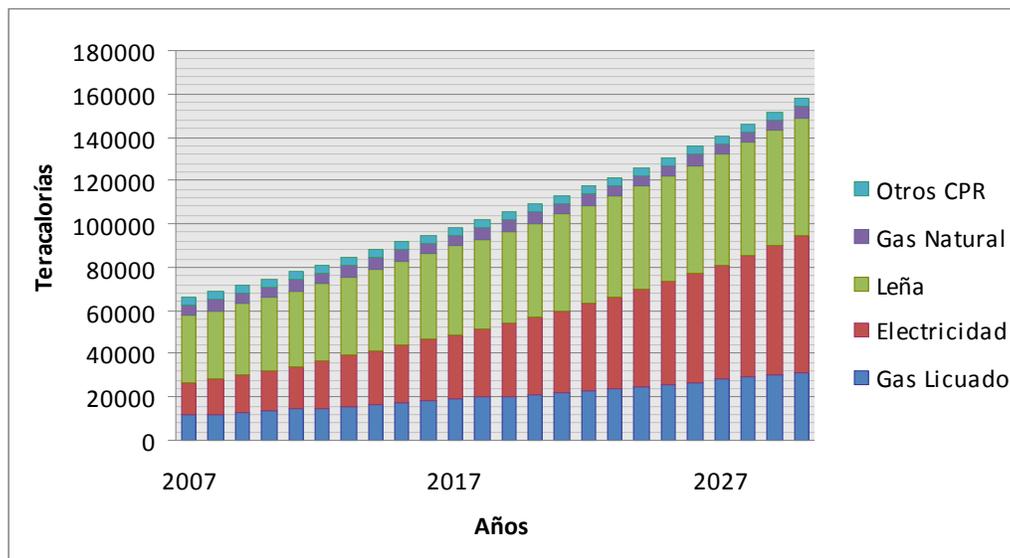
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior, no existe un buen ajuste entre el consumo real y el modelado. La tasa de crecimiento promedio anual calculada con datos reales para el período 1982-2006 es de 3,1%, mientras que la tasa estimada por el modelo es -0,4% para el mismo período. Existe, por lo tanto, una baja confiabilidad en el consumo proyectado para el período 2006-2030 (se estima una disminución promedio anual de 0,3%), por lo que resulta aconsejable efectuar una revisión del modelo en estudios posteriores, a fin de mejorar la proyección del consumo energético en este subsector.

Resumen de Consumos Energéticos en CPR

Agregando las distintas estimaciones, podemos graficar las estimaciones (2007-2030) en conjunto para los distintos consumos del sector CPR, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 78: Consumos CPR



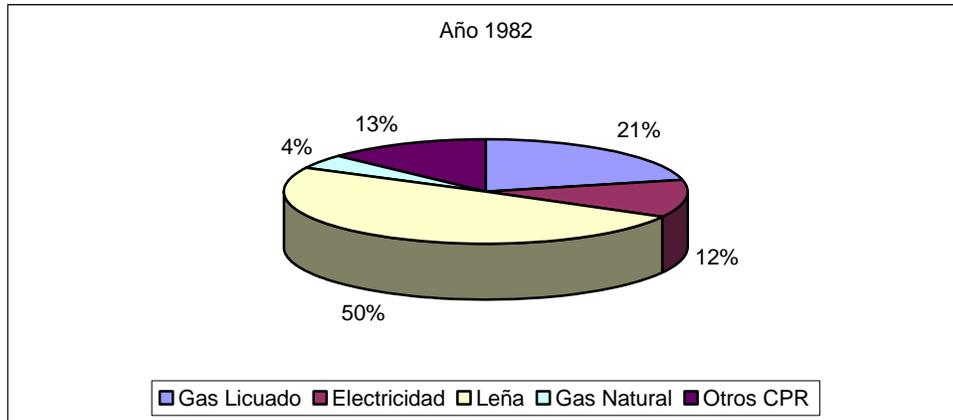
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran para el consumo total un incremento promedio anual de 3,9% entre los años 1982-2006, mientras que para el período 2006-2030 el consumo crece a una tasa promedio anual de 3,8%.

Con respecto a la evolución de la estructura de consumo en el subsector, entre los años 1982 y 2006 el consumo relativo de electricidad aumenta considerablemente (de 12% a 21%). También se observa un aumento del consumo relativo de gas natural, mientras que el consumo de gas licuado disminuye su importancia. Se observa una disminución de la importancia relativa de la leña.

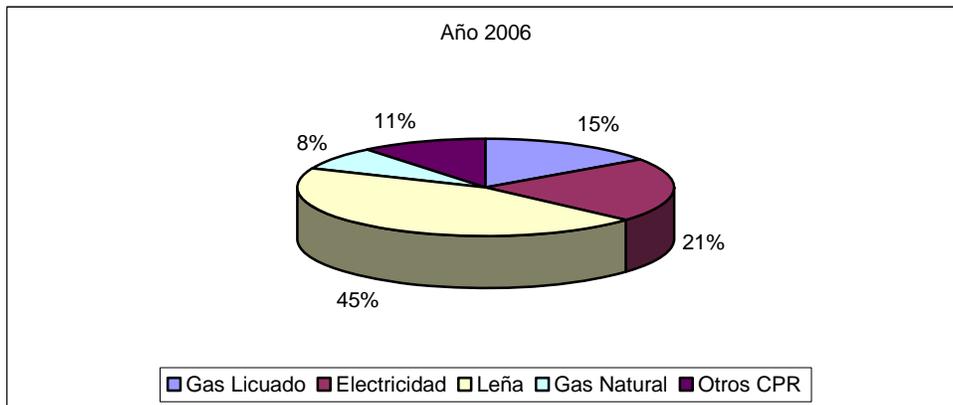
Hacia el 2030 se espera un aumento importante del consumo relativo de electricidad, con la consecuente disminución en los consumos relativos de leña, gas natural y otros energéticos. Se espera también un aumento en la importancia relativa del gas licuado.

Figura 79: Estructura de consumo energético en CPR, año 1982



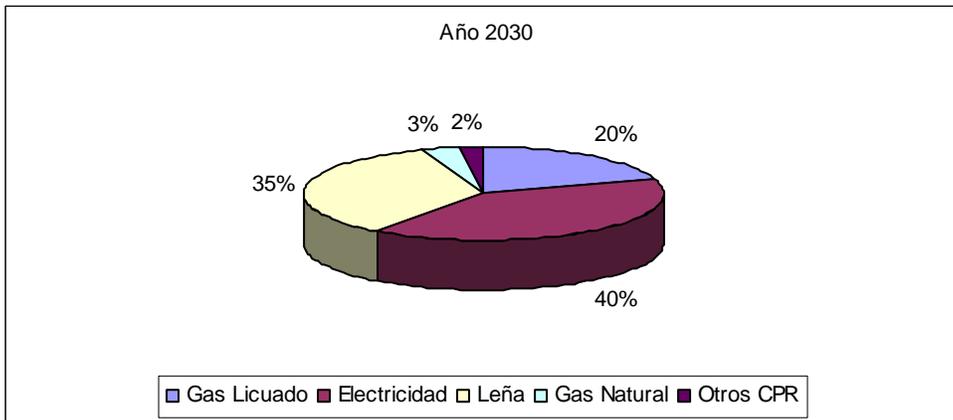
Fuente: Elaboración Propia

Figura 80: Estructura de consumo energético en CPR, año 2006



Fuente: Elaboración Propia

Figura 81: Estructura de consumo energético en CPR, año 2030



Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Sector Transporte

Las proyecciones del consumo futuro del sector transporte son analizadas para cada uno de los subsectores que lo componen, decir, para el transporte terrestre, marítimo, aéreo y ferroviario. El consumo energético de los tres últimos subsectores es proyectado con un modelo econométrico. Por otro lado, el consumo del sector transporte terrestre es proyectado utilizando dos metodologías, una híbrida y una de uso final.

3.4.3.1 Sub sector transporte terrestre

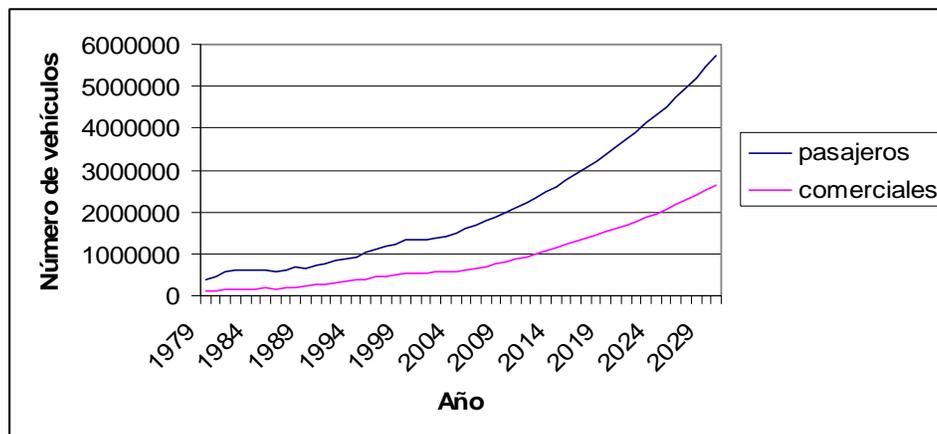
En la proyección del consumo energético del sector transporte terrestre se utiliza una metodología híbrida que mezcla una proyección econométrica con una de uso final, aplicándose esta última solo al consumo de diesel de vehículos livianos y comerciales.

Para realizar las estimaciones econométricas se proyectan los consumos energéticos del transporte terrestre relacionándolos de manera directa con el aumento del parque de vehículos. Este último está compuesto por cuatro tipos de vehículos:

- Parque de vehículos de pasajeros o livianos (automóviles y taxis)
- Parque de vehículos comerciales (Furgones y camionetas)
- Parque de buses
- Parque de camiones

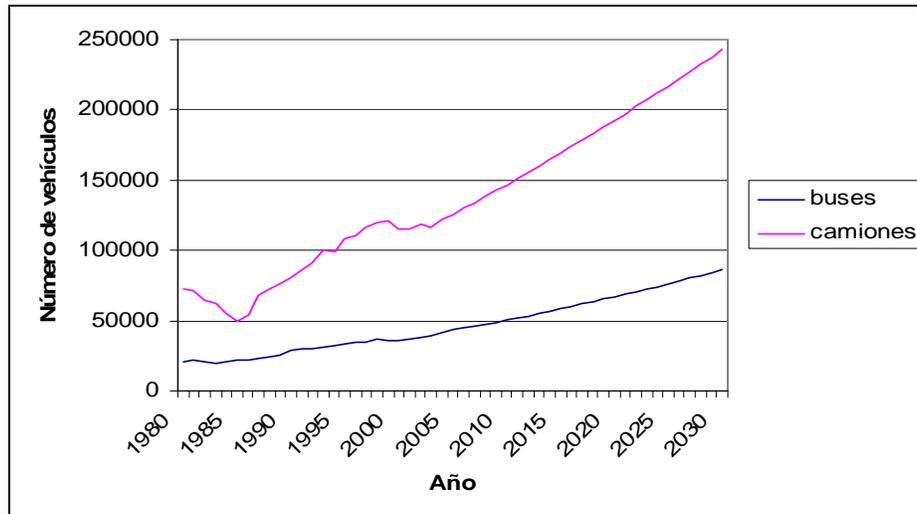
En las siguientes figuras se aprecian las proyecciones del parque de vehículos de pasajeros y comerciales y del parque de buses y camiones.

Figura 82: Parque de vehículos de pasajeros y comerciales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 83: Parque de buses y camiones.



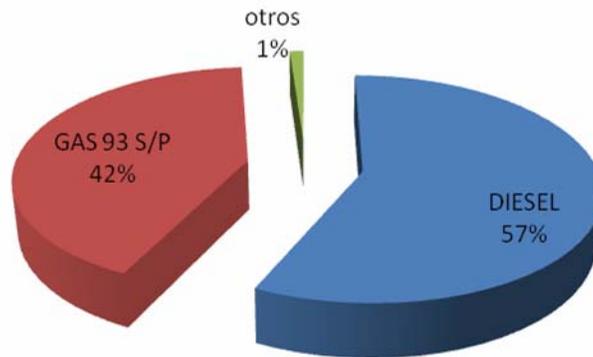
Fuente: Elaboración Propia

El parque de vehículos en general tiene estrecha relación con el nivel de actividad de la economía. Por lo tanto se puede proyectar el parque de vehículos ya sea livianos, comerciales, buses o camiones relacionándolo con el nivel de actividad de la economía como determinante de largo plazo⁶⁴.

De esta forma los consumos energéticos de largo plazo del sector transporte terrestre quedan determinados por su relación con el parque de vehículos. Este sector está compuesto por los siguientes consumos energéticos:

⁶⁴ En el anexo 7 se muestra la metodología de estimación y proyección del parque de vehículos en general.

Figura 84: Consumo transporte terrestre



Fuente: Elaboración Propia en Base a Datos CNE

Consumo de Gasolina de transporte terrestre

El consumo histórico de gasolina de este sector muestra un buen ajuste con el parque de vehículos (livianos y comerciales ya que buses y camiones no consumen gasolina). En consecuencia, utilizando los datos históricos para este sector se estima el modelo de consumo de gasolina⁶⁵.

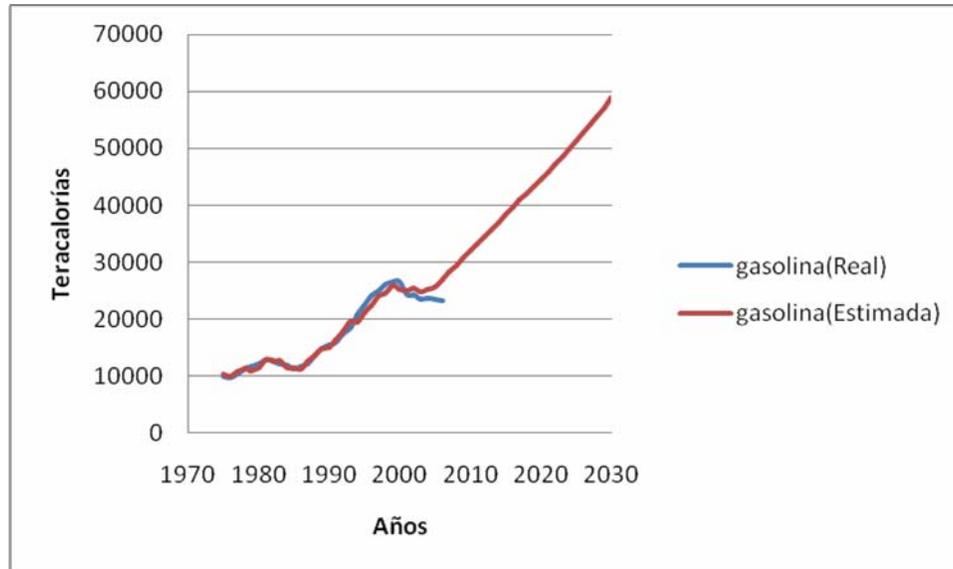
El consumo de gasolina del sector Transporte queda modelado por la siguiente función:

$$gasolina_t = 0.25 - 0.6 \cdot pvp_t + 1.8 \cdot pvl_t + \varepsilon_t$$

Donde pvl es el parque de vehículos comerciales, pvp es el parque de vehículos de pasajeros. En base a esta estimación y la proyección futura del parque de vehículos, se presenta en la siguiente figura la estimación y proyección del consumo de gasolina.

⁶⁵ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

Figura 85: Curva real y estimada de consumo de Gasolina



Fuente: Elaboración Propia

De la figura anterior se aprecia que el modelo de consumo de gasolina tiene un buen ajuste con los patrones históricos del consumo de gasolina.

Los resultados muestran un incremento promedio anual de un 3.0% del consumo de gasolina del sector transporte terrestre entre los años 2006 y 2030. Esta tasa es levemente mayor que el incremento del consumo gasolina de este sector para un periodo de tiempo similar, ya que entre 1982 y 2006 se registró una tasa de crecimiento anual del 2.6%.

Consumo de diesel del sub sector transporte terrestre

Para estimar el consumo de diesel del subsector de transporte terrestre se realizan dos estimaciones en forma separada. La primera proyecta con el modelo econométrico el consumo de Diesel de buses y camiones. El restante porcentaje asociado al consumo de diesel de vehículos livianos y comerciales se proyecta con una metodología de uso final.

Con el modelo econométrico se aprecia que el consumo histórico de diesel presenta un buen ajuste con el parque de buses y camiones. Por lo que, utilizando los datos históricos de parque y de diesel de este sector se estima el modelo de consumo de diesel⁶⁶. Hay que resaltar que dentro de estas estimaciones los datos incorporan el consumo de diesel de otros medios de transportes (principalmente vinculados con el sector agrícola) y también se incorpora el consumo de diesel de vehículos livianos y comerciales. La proporción de estos corresponde al 19% del consumo de diesel por lo que las estimaciones tendrían a sobre estimar el consumo de camiones y buses, no se pudieron separar para las estimaciones el consumo de “otros” ya que no hay suficientes datos para estimar en forma separada.

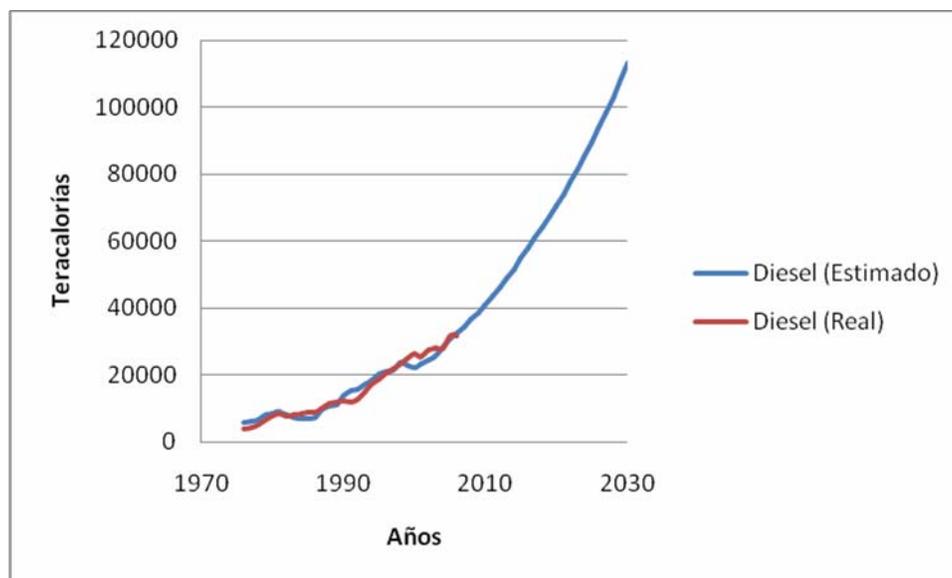
⁶⁶ Los detalles del modelo y resultados se presentan en el anexo 4.

El consumo de diesel del sub sector transporte terrestre y relacionado solo con buses y camiones queda modelado por la siguiente función:

$$\text{diesel}_t = -10.7 + 1.36 \cdot \text{pbuses}_t + 0.54 \cdot \text{pcamiones}_t + \varepsilon_t$$

Donde pbuses es el parque de buses, pcamiones es el parque de camiones, ambas variables se expresan en logaritmo natural. En base a esta estimación y la proyección futura del parque de vehículos, se presenta la estimación y proyección del consumo de Diesel.

Figura 86: Curva real y estimada de consumo de Diesel de buses y camiones



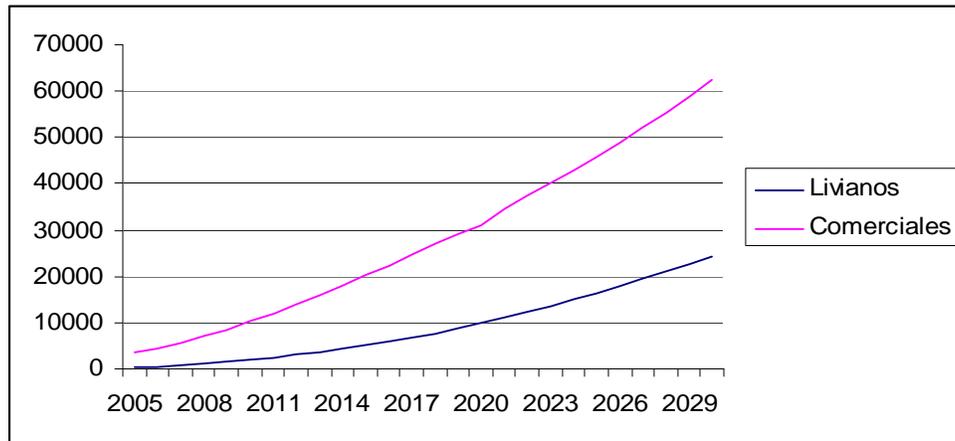
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran un incremento promedio anual de un 5,3% del consumo de diesel del sector transporte terrestre entre los años 2006 y 2030. Esto es menor que el incremento del consumo histórico de diesel de este sector ya que entre 1982 y 2006 el incremento promedio fue de un 6,1% promedio anual.

Por otro lado, con la metodología de uso final, se estimó la demanda de diesel por parte de los vehículos livianos y comerciales. Esta metodología se emplea debido a que no es posible proyectar econométricamente el consumo de diesel de estos vehículos por la poca información histórica disponible. Con el método de uso final es posible incorporar la proyección del parque automotriz y las distintas tecnologías que se incorporarán en el futuro, incorporando además en las proyecciones, las ganancias en la eficiencia del uso de diesel⁶⁷. A continuación se presentan las proyecciones del Diesel consumido por vehículos livianos y comerciales.

⁶⁷ En el anexo 7 se describe la metodología de uso final y se incorpora el análisis completo para el sector transporte terrestre.

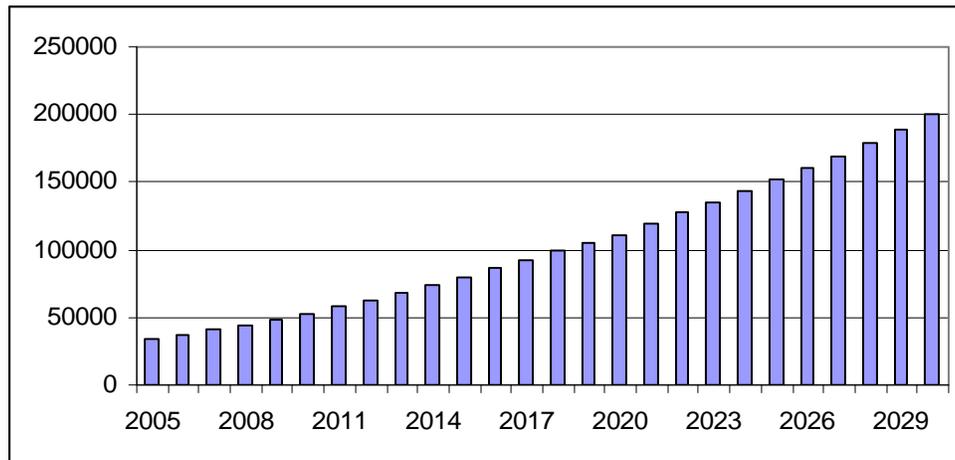
Figura 87: Consumo de Diesel asociado a vehículos livianos y comerciales
 (Teracalorías)



Fuente: Elaboración Propia

Una vez estimados los consumos de Diesel con ambas metodologías se suman ambos resultados, lo que se aprecia en la siguiente figura. Hay que considerar que existe una sobre estimación en el monto agregado ya que un porcentaje del consumo de diesel de vehículos livianos y comerciales se incorpora en la estimación econométrica, sin embargo, debido a la poca información disponible no es posible desarrollar mejor esta aproximación. No obstante lo anterior, hay que destacar que con el método econométrico el consumo histórico de buses y camiones representaba hasta el 2006 el mayor porcentaje de diesel. Sin embargo, se espera un fuerte aumento de vehículos livianos y comerciales que utilizan diesel, aumento que no es recogido por los datos históricos.

Figura 88: Consumo de Diesel del sector transporte terrestre
(Teracalorías)



Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.2 Sub sector transporte aéreo

El consumo energético del sector de transporte aéreo se caracteriza principalmente por el consumo de kerosene de aviación cuyo consumo corresponde al 99.1%⁶⁸. Por este motivo solo se analiza la evolución de este componente energético.

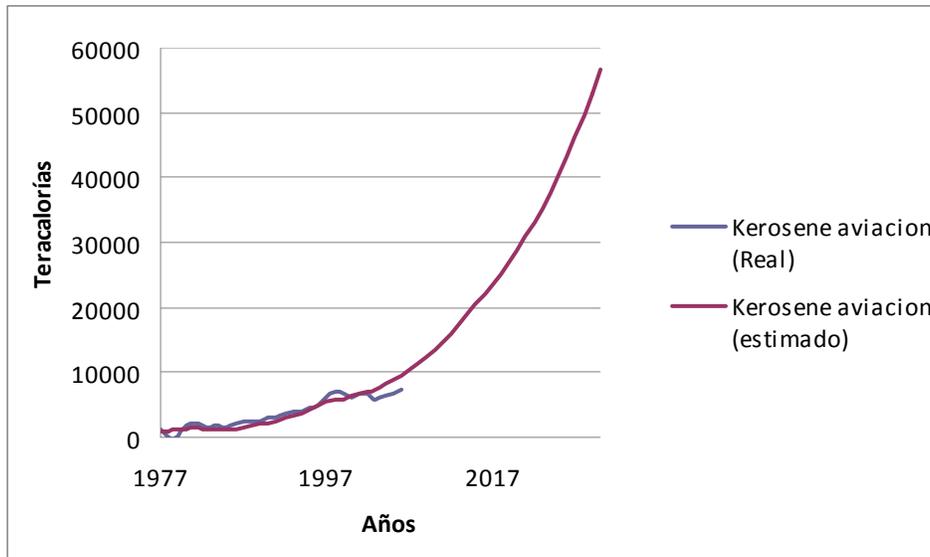
En particular el kerosene de aviación presenta una buena correlación con el PIB. Por este motivo se elige dicha variable como explicativa del consumo energético en este sector. A continuación se muestra el modelo propuesto.

$$kerosene_t = -9.8 + 1.7 pib_t + \varepsilon_t$$

En la siguiente figura se aprecia el kerosene de aviación real y el estimado, donde se distingue la buena aproximación del modelo presentado.

⁶⁸ Según el balance de energía del año 2006.

Figura 89: Consumo de Kerosene en el sector de transporte aéreo



Fuente: Elaboración Propia

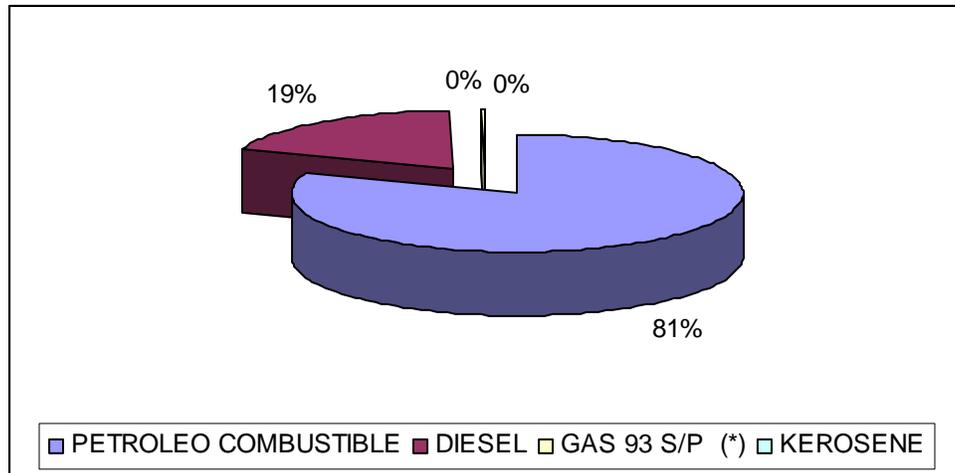
En este modelo se aprecia que consumo de kerosene en el período 1982-2006 del se ha incrementado a una tasa promedio del 5,8% y se espera que aumente al 7.7% promedio anual en el período 2006-2030.

3.4.3.3 Sub sector transporte marítimo

El consumo de energéticos asociado al transporte marítimo está claramente marcado por el consumo de dos energéticos: petróleo combustibles, que representa el 81% del consumo total, y diesel que representa el 19% del consumo total⁶⁹. También se consume un porcentaje muy reducido de kerosene y gasolina que no será incluido en el análisis por su participación casi despreciable.

⁶⁹ Expresado en teracalorías según el balance de energía del año 2006.

Figura 90: Consumo de energéticos en el sector de transporte marítimo 2006



Fuente: Elaboración Propia

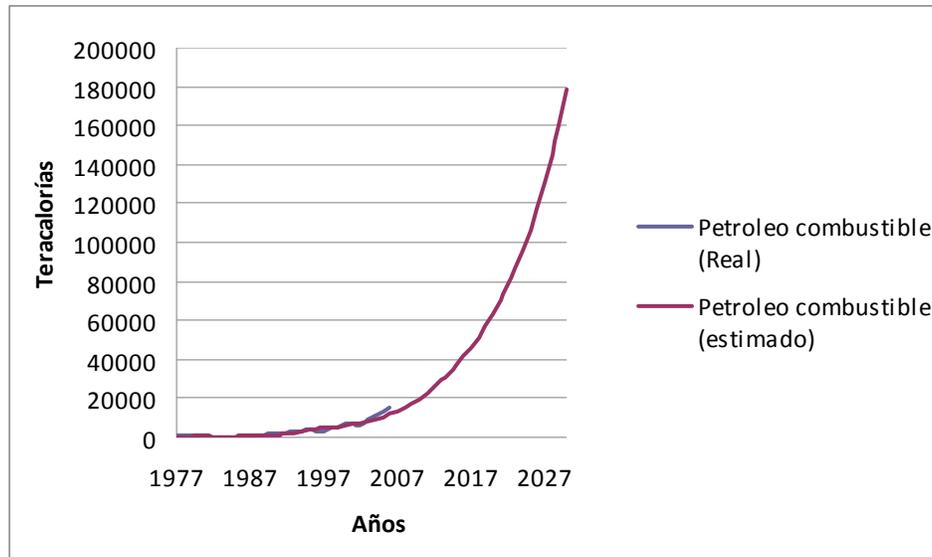
Consumo de petróleo combustible en el sub sector de transporte marítimo

El petróleo combustible es estimado utilizando como variable explicativa el PIB la que presenta un buen ajuste a los datos reales. La ecuación que caracteriza esta aproximación esta dada por:

$$petroleo_t = -19.6 + 2.6 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

A continuación se presenta la proyección resultante del modelo de estimación proyectado. Se observa un aumento muy significativo del consumo de petróleo combustible por parte del transporte marítimo al 2030.

Figura 91: Consumo de petróleo combustible en el sub sector de transporte marítimo



Fuente: Elaboración Propia

A pesar del aumento significativo en el consumo total de este combustible, será inferior al observado en un periodo similar anterior. En efecto, el crecimiento histórico del consumo de petróleo combustibles de este sector presenta un aumento promedio anual del 17,3% para el período 1982-2006, superior al aumento en la tasa de crecimiento anual de un 12% esperado para los siguientes 24 años.

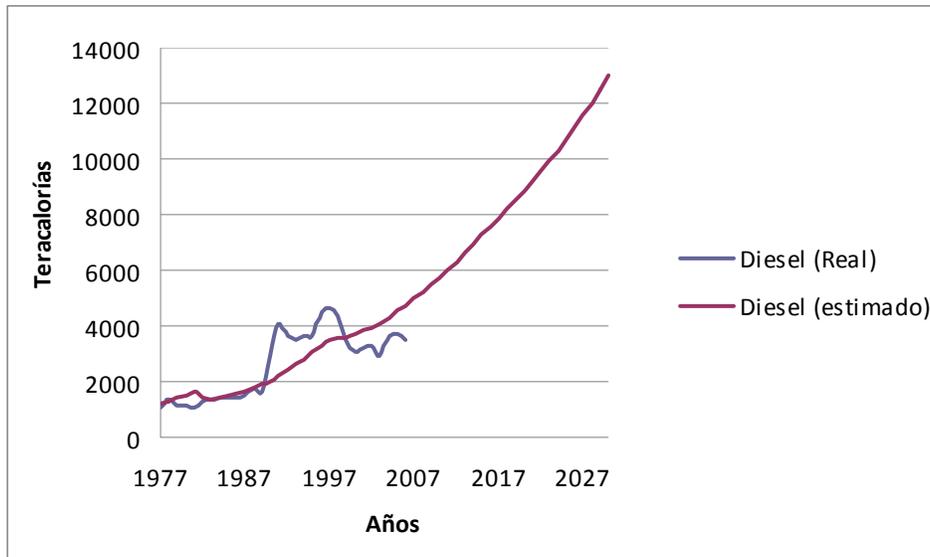
Consumo de diesel en el sub sector de transporte marítimo

Análogamente al caso anterior la evolución del consumo de diesel es explicado por el producto interno bruto. Por lo que el modelo de proyección se expresa de la siguiente forma:

$$diesel_t = -2.3 + 0.98 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

Como se aprecia en la siguiente figura el modelo consumo de diesel presenta un buen ajuste en promedio con la tendencia de largo plazo seguida por los datos reales.

Figura 92: Consumo de diesel en el sub sector de transporte marítimo



Fuente: Elaboración Propia

En este caso hay que distinguir que la tasa de crecimiento anual de los datos reales en el período 1982-2006 es de un 4.2% mientras que para el mismo período el modelo estima un 5.1% de crecimiento. Sin embargo el modelo para el período 2006-2030 estima que la tasa de crecimiento será de un 4.3%, muy en línea con el crecimiento histórico presentado.

3.4.3.4 Sub sector transporte ferroviario

El sector de transporte ferroviario consume dos tipos de energéticos. Diesel y electricidad donde la proporción de su consumo, expresado en teracalorías, es un 76% de diesel y un 24% de electricidad.

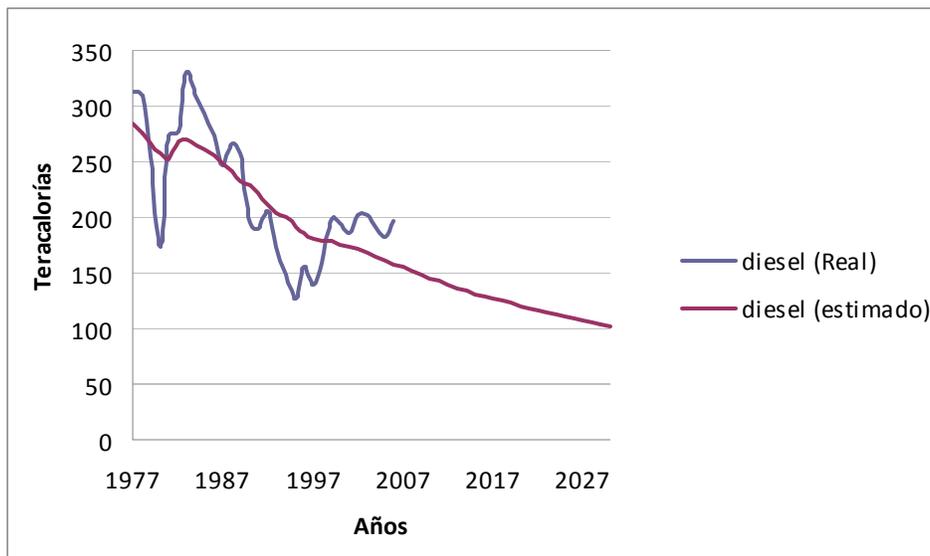
Estos dos consumos se correlacionan con el PIB por lo que se estiman los siguientes modelos para estos energéticos:

$$diesel_t = 9.7 - 0.42 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

$$electricidad_t = 9.6 - 0.49 \cdot pib_t + \varepsilon_t$$

Los modelos antes señalados permiten proyectar el consumo de diesel y electricidad de este sub sector los que se aprecian en las siguientes figuras.

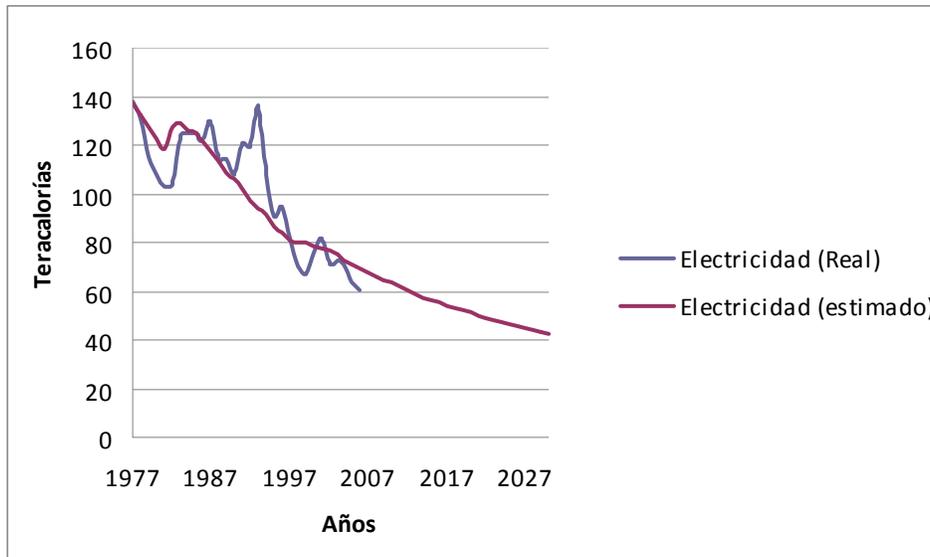
Figura 93: Consumo de diesel en el sub sector de transporte ferroviario



Fuente: Elaboración Propia

El consumo de Diesel ha presentado una tasa de crecimiento anual, en el período 1982-2006, del -1.4%, lo que difiere levemente con la tasa del -2.2% estimada por el modelo para este período. Sin embargo, el modelo proyecta que para el período 2006-2030 la tasa sea menos brusca, con una caída esperada del -1.8%

Figura 94: Consumo de electricidad en el sub sector de transporte ferroviario



Fuente: Elaboración Propia

El consumo de electricidad presenta una tasa de crecimiento anual, en el período 1982-2006, del -2,2%, lo que difiere levemente con la tasa del -2,5% estimada por el modelo para este período. A su vez, el modelo proyecta para el período 2006-2030 que la tasa de crecimiento este en línea con la proyección histórica, ya que se espera una tasa del -2,1%

3.4.3.5 Otros consumos del sector transporte

También se ha analizado el consumo de otros energéticos los que para el sector transporte terrestre son Petróleo combustible, Kerosene de aviación, Kerosene, Gas licuado Electricidad y Gas natural el consumo de estos energéticos equivale al 0,8% del consumo del sector Transporte. Para el subsector Transporte ferroviario no existen otros energéticos distintos de los ya estimados. Mientras que el subsector Transporte marítimo se incorpora como otro energético Diesel, Gasolina 93/SP y Kerosene, los que equivalen a menos del 0,1% del consumo del sector Transporte. Finalmente el subsector de transporte aéreo presenta en otros combustibles el Diesel, Gasolina 93/SP y Gasolina de aviación consumo que corresponde a menos del 0.1% del consumo total del sector transporte.

En general los otros combustibles del sector transporte equivalen al 0.9% del consumo total del sector transporte. Estos combustibles fueron proyectados con la siguiente ecuación

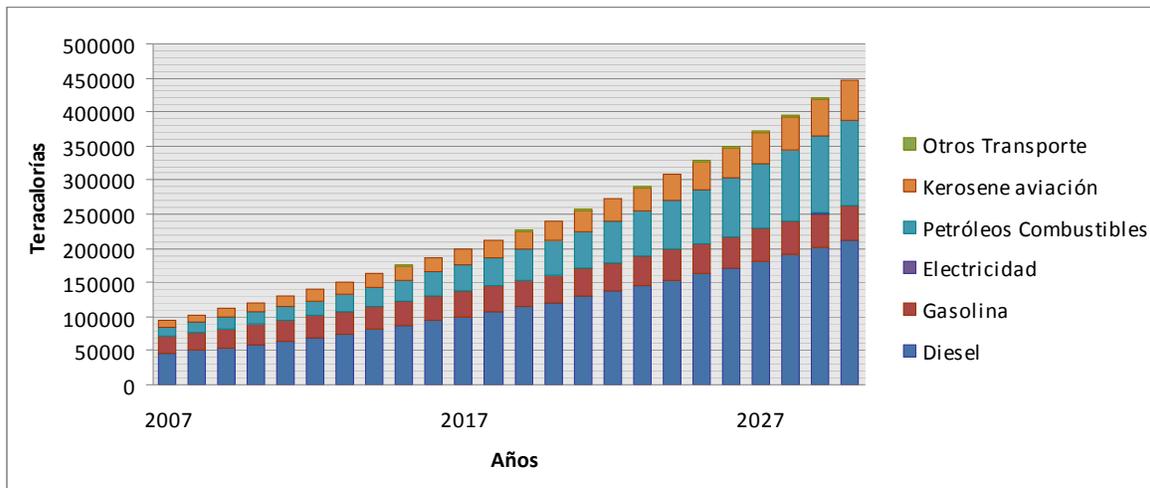
$$otros_energéticos_t = -0.15 - 4.39 \cdot pbuses_t + 4.46 \cdot pcamiones_t + \varepsilon_t$$

Donde pvl es el parque de vehículos comerciales, pvp es el parque de vehículos de pasajeros, $pbuses$ es el parque de buses y $pcamiones$ es el parque de camiones.

Resumen de Consumos Energéticos en Transporte

En el gráfico siguiente se presenta la estimación del consumo energético del sector transporte para el periodo 2007-2030 por subsector de transporte.

Figura 95: Consumos Transporte

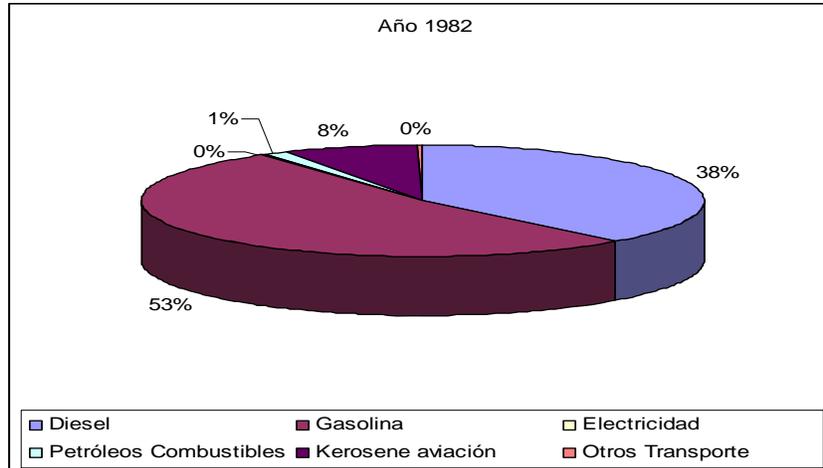


Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 7.4% del consumo total de energía del sector Transporte entre los años 2006 y 2030. Esta tasa es mayor que el incremento del consumo total de energía de este sector para período 1982-2006 en el cual se registró un aumento promedio anual del 5.2%.

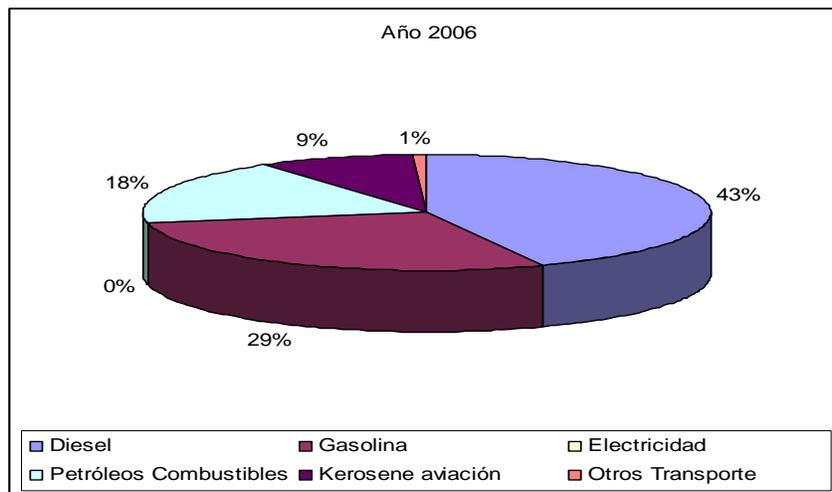
Como se aprecia en las figuras 93, 94 y 95. La estructura de producción presentada por el sector de transporte en el año 1982 se centraba en el consumo de tres energéticos Gasolina, Diesel y Kerosene de aviación. Sin embargo al año 2006 esta estructura ha aumentado el grado de diversificación debido a la inclusión de petróleos combustibles que ha sustituido fundamentalmente a gasolina. Los otros energéticos han mantenido su participación en el consumo energético. Para el año 2030 se espera que siga aumentando la participación de petróleos combustibles en detrimento de la gasolina; que aumente la participación del kerosene de aviación; y que el consumo de diesel se acerque a la mitad de las teracalorías consumidas por este sector.

Figura 96: Estructura de consumo energético en transporte, año 1982



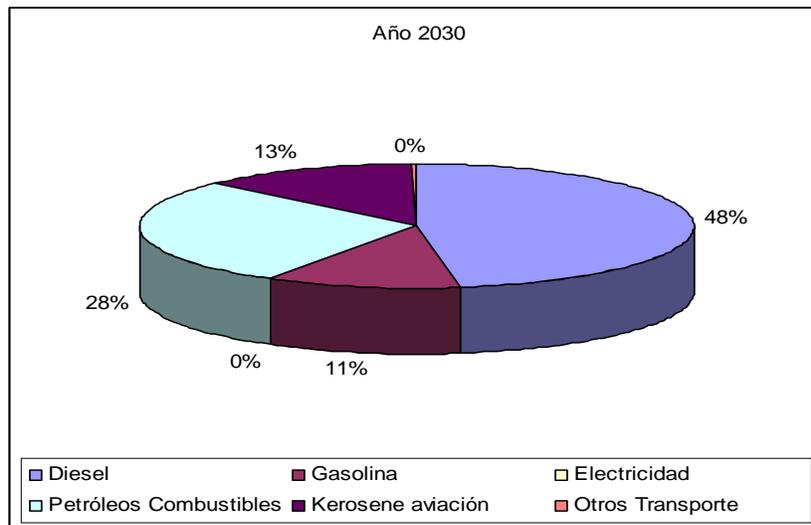
Fuente: Elaboración Propia

Figura 97: Estructura de consumo energético en transporte, año 2006



Fuente: Elaboración Propia

Figura 98: Estructura de consumo energético en transporte, año 2030



Fuente: Elaboración Propia

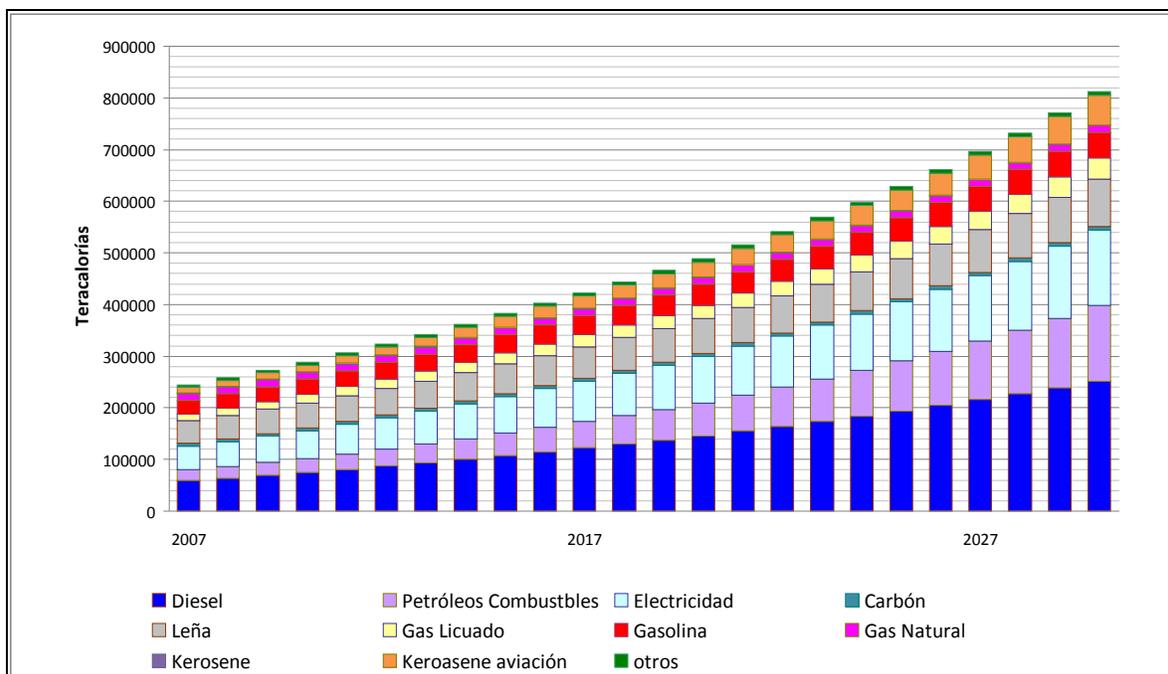
3.5 Consumos energéticos agregados

El propósito de esta sección es ofrecer una visión agregada de las proyecciones obtenidas para el período 2007-2030. Para tales fines se analiza la evolución del consumo energético nacional según tipo de combustible, agregando los sectores involucrados. Asimismo, se estudia el consumo energético nacional por sector. En el caso de los energéticos más consumidos en el país, se presenta la evolución de su consumo por sectores durante el período considerado.

Consumo nacional por tipo de combustible

En la siguiente figura se presenta el consolidado anual del consumo multisectorial por tipo de combustible, durante el período 2007-2030.

Figura 99: Consumo nacional por tipo de combustible



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el gráfico, la proyección del consumo nacional de combustibles presenta una tendencia general al alza, con un aumento promedio anual de 5,4%.

Los energéticos de mayor relevancia en el consumo durante todo el período son diesel, petróleo combustibles, electricidad y leña, representando en conjunto entre un 69% (para el año 2007) y un 78% (para el año 2030) del consumo total.

El consumo relativo de diesel y petróleos combustibles aumenta a lo largo del período (el diesel incrementa su importancia relativa de 24% a 31% y petróleos combustibles, de 8,5% a 18%) mientras que el consumo relativo de electricidad y leña, si bien continúan siendo mayoritarios a lo largo del período, tienden a disminuir (electricidad disminuye su importancia relativa de 18,5% a 18,1% y leña, de 18% a 11%).

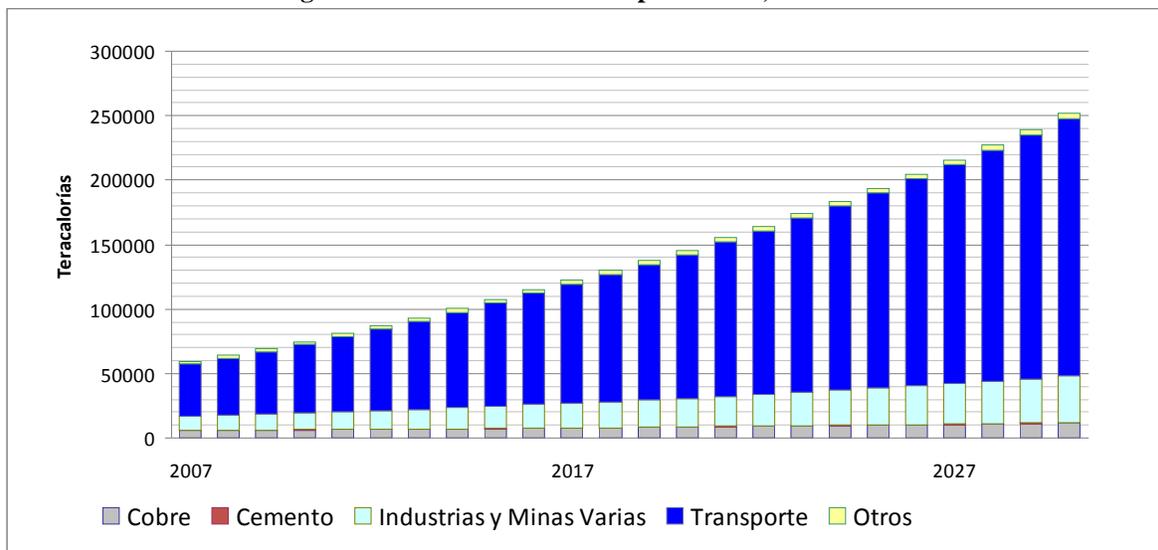
Con respecto a la tasa de crecimiento del consumo, los energéticos que lideran el aumento de consumo son petróleos combustibles con una tasa de crecimiento anual de 8,9%, y diesel con una tasa de crecimiento de 6,5% anual. Por otra parte, los consumos de carbón y kerosen muestran una tendencia constante durante el período.

Dada la importancia del consumo de diesel, petróleos combustibles, electricidad y leña durante el período estudiado, se presenta a continuación el consumo de dichos combustibles por sector detalladamente.

Consumo de diesel por Sector, 2007-2030

El siguiente gráfico presenta la proyección del consumo de diesel por sector entre los años 2007 y 2030.

Figura 100: Consumo de Diesel por Sector , 2007-2030.



Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la mayor parte del consumo de diesel a lo largo del período considerado proviene del sector transporte, el cual concentra el 68,5% del consumo intersectorial en el año 2007 y se proyecta con un 79,2% de participación hacia el 2030. Además, este es el sector que más aumenta su consumo de este energético durante el período, presentando una tasa de crecimiento promedio anual de 7,2%.

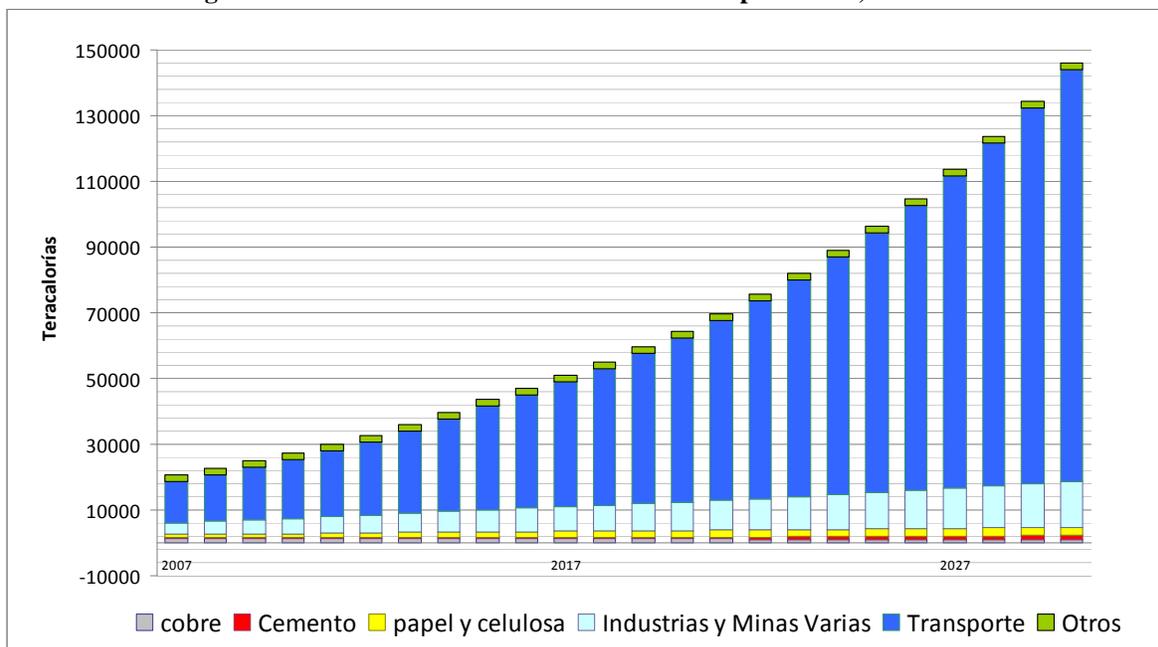
Inversamente, el sector que menos consume diesel en relación al total, es el cemento, con una participación de 0,1% a lo largo de todo el período y una tasa de crecimiento promedio anual de 5,4%.

En orden de importancia relativa, el sector Industria y minas varias es el segundo consumidor de diesel, con un consumo relativo de 18% con respecto al consumo total en el 2007. Esta participación disminuye a lo largo del período, de manera que en el año 2030 se estima que el consumo relativo de diesel de este subsector sea de 14,4%. No obstante lo anterior, se proyecta que el sector aumente su consumo durante el período a una tasa de 5,5% anual.

Consumo de petróleos combustibles por Sector, 2007-2030

El siguiente gráfico presenta la proyección del consumo de petróleos combustibles por sector entre los años 2007 y 2030.

Figura 101: Consumo de Petróleos Combustibles por Sector, 2007-2030.



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el caso del diesel, la mayor parte del consumo de petróleos combustibles a lo largo del período considerado proviene del sector transporte, el cual concentra en el año 2007 el 61% del consumo intersectorial, y se proyecta con un 86% de participación hacia el 2030. Además, este es el segundo sector que más aumenta su consumo durante el período, presentando una tasa de crecimiento promedio anual de 10,5%.

El sector que lidera el crecimiento del consumo de petróleos combustibles es el cemento, con una tasa promedio anual de 10,6%. Sin embargo, se trata del sector menos relevante en

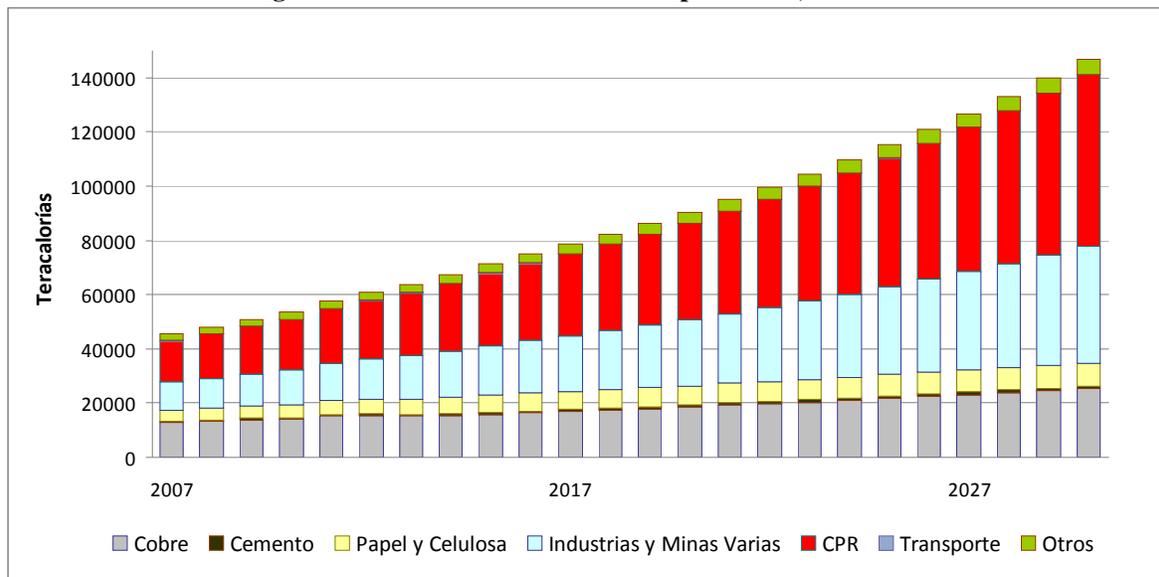
cuanto a su consumo relativo, representando menos del 1% del total a lo largo de todo el período.

En orden de importancia relativa, el sector Industria y minas varias es el segundo consumidor de petróleos combustibles, con un consumo relativo de 17% con respecto al consumo total en el 2007. Esta participación disminuye a lo largo del período, de manera que en el año 2030 se estima que el consumo relativo del subsector sea de 9,5%. No obstante lo anterior, se proyecta que el sector aumente su consumo durante el período a una tasa de 6% anual.

Consumo de electricidad por Sector, 2007-2030

El gráfico siguiente presenta la proyección del consumo de electricidad por sector entre los años 2007 y 2030.

Figura 102: Consumo de Electricidad por Sector, 2007-2030



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se puede apreciar que el sector que más consume electricidad es el CPR, representando un 33,2% del consumo total en el 2007. Se estima que para el 2030 la importancia relativa del subsector aumente, conformando el 43% del consumo total de este energético. Asimismo, se estima que este sea el subsector con mayor crecimiento del período, presentando una tasa de aumento de 6,4% anual.

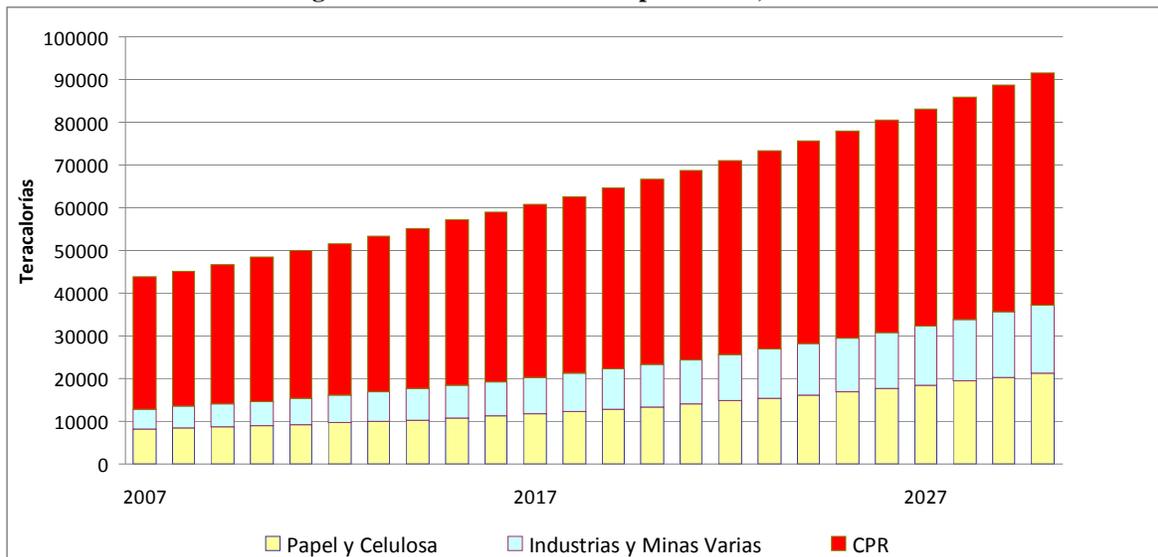
El segundo sector en presentar la mayor tasa de crecimiento promedio anual es Industria y minas varias, con 6,4% promedio anual. Se estima que la participación relativa del sector en el consumo de electricidad también aumente, partiendo de 22,4% en 2007 y llegando a conformar un 29% del consumo intersectorial en el 2030.

El cemento es el sector que menos consume electricidad, conformando alrededor de un 1% del consumo relativo durante todo el período.

Consumo de leña por Sector, 2007-2030

En el siguiente gráfico se presenta la proyección del consumo de leña por sector entre los años 2007 y 2030

Figura 103: Consumo de Leña por Sector, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

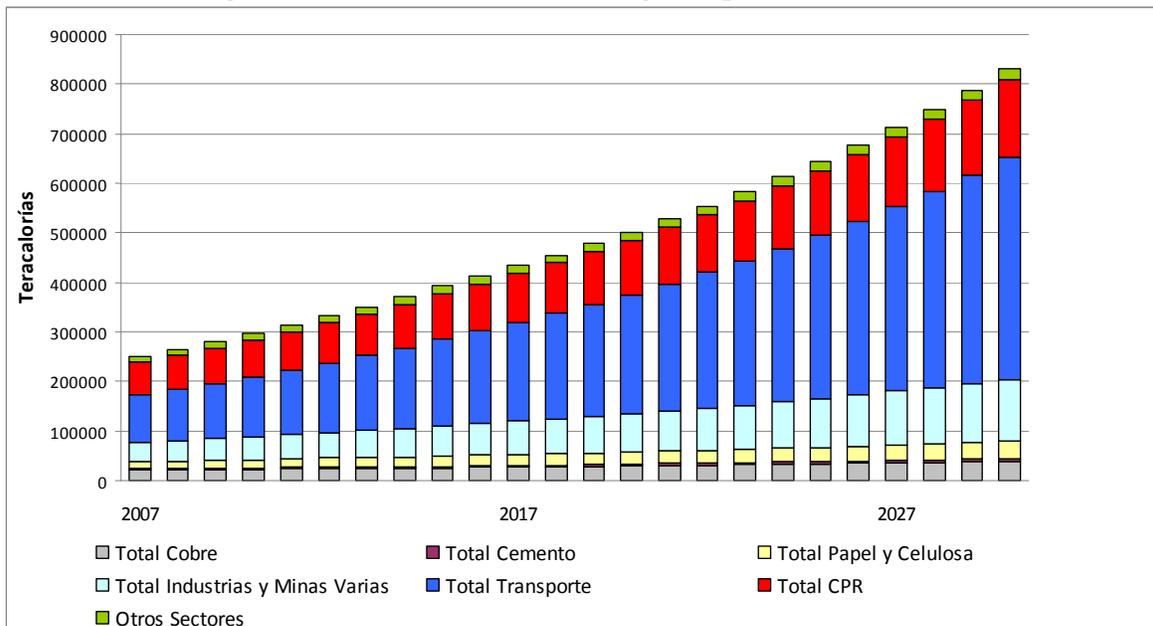
Como se aprecia en el gráfico, la mayor parte del consumo de leña a lo largo del período considerado proviene del sector CPR, el cual concentra el 70,5% del consumo intersectorial en el año 2007 y se proyecta con una disminución de la participación, llegando a 59,4%, hacia el 2030. Esto último, producto del aumento de la importancia relativa del consumo de leña por parte de los demás sectores.

Se proyecta que el subsector Industria y minas varias sea el que más aumente su consumo de leña, presentando una tasa promedio de crecimiento anual de 5,3%. En segundo lugar se encuentra el sector Industria y minas varias, con un incremento promedio anual de 4,3% en el consumo de leña. Por su parte, para el sector CPR se estima una tasa de crecimiento menor, de 2,5% promedio anual.

Consumo nacional por sector

El siguiente gráfico presenta la proyección del consumo agregado anual de energéticos, por parte de cada sector, durante el período 2007-2030.

Figura 104: Consumo nacional de energéticos por Sector, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el gráfico anterior, el sector que lidera el consumo de energéticos es el transporte, conformando el 38% del consumo agregado en el año 2007, y proyectándose hacia el 2030 con una participación aún mayor, del 53,8%. Asimismo el consumo de energéticos por parte de este sector es el que muestra un mayor crecimiento esperado, proyectándose con una tasa promedio anual de 6,9%.

En orden de importancia relativa, el segundo sector es CPR cuyo consumo, en el año 2007, conforma un 26,4% del agregado sectorial. Se espera sin embargo, una disminución gradual de su importancia relativa, de manera que en el 2030 represente el 19% del total. Se proyecta una tasa de crecimiento del consumo de 3,8% anual por parte de este sector

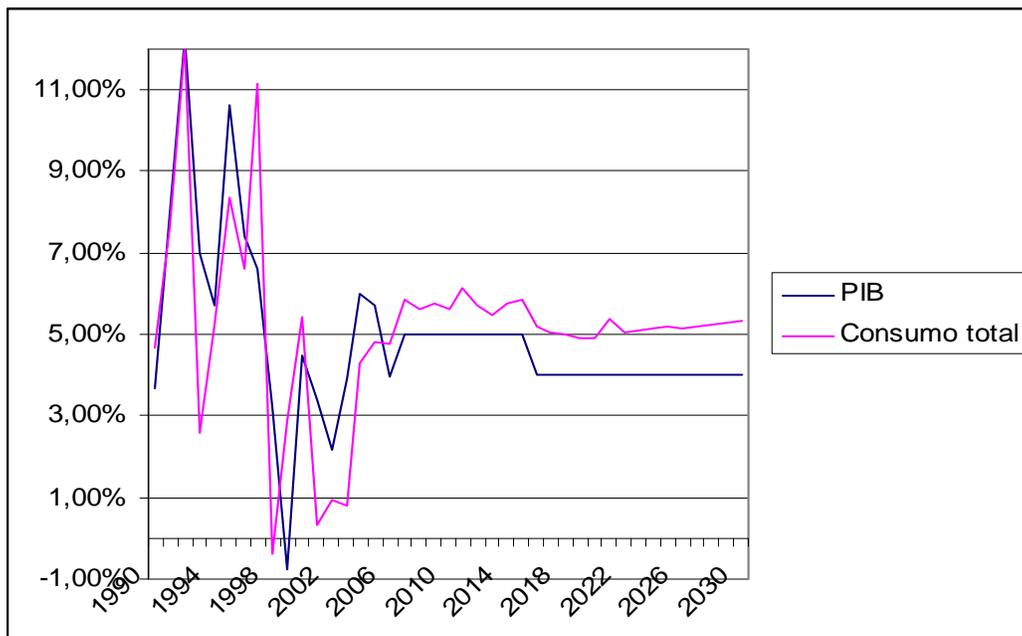
Se espera que el consumo relativo del sector Industria y minas varias se mantenga en torno al 15% durante todo el período. Sin embargo, se espera un aumento promedio anual de 5,3% en el consumo de energéticos por parte de este sector.

Con respecto a los demás sectores, que en conjunto representan el 20,3% del consumo total en el año 2007, se espera que cada uno de ellos disminuya su participación relativa, de manera que hacia el 2030 representen en conjunto un 12% del total.

Por último, se proyecta que el cobre sea uno de los sectores con menor crecimiento en consumo de energéticos, con una tasa de crecimiento anual de 2,6%.

Al comparar la evolución proyectada del consumo agregado de energía con la evolución del PIB se aprecia que la tasa de crecimiento del consumo energético es mayor en un punto porcentual en promedio. De hecho entre los años 2006 y 2015 se proyecta un crecimiento anual del PIB de un 5,0% y se espera que el consumo total de energía aumente en un 5,8%. Por otro lado para el período 2016-2030 se espera que el producto aumente en un 4,0% promedio mientras que las proyecciones del consumo total de energía aumentan en un 5.1%. A continuación se muestran el gráfico comparativo de las tasas de crecimiento anual de ambas variables.

Figura 105: Tasa de crecimiento anual del PIB vs. Consumo energético total, 1990-2030



Fuente: Elaboración Propia

3.6 Escenarios alternativos

En este punto se desarrolla un análisis de sensibilidad en torno a los consumos totales de energía y por tipo de combustible. El análisis realizado hasta es desarrollado bajo el supuesto que el escenario base de consumo es función del PIB, el que crece un 5% promedio anual hasta el 2015 y desde el año 2016 crece un 4% hasta el 2030.

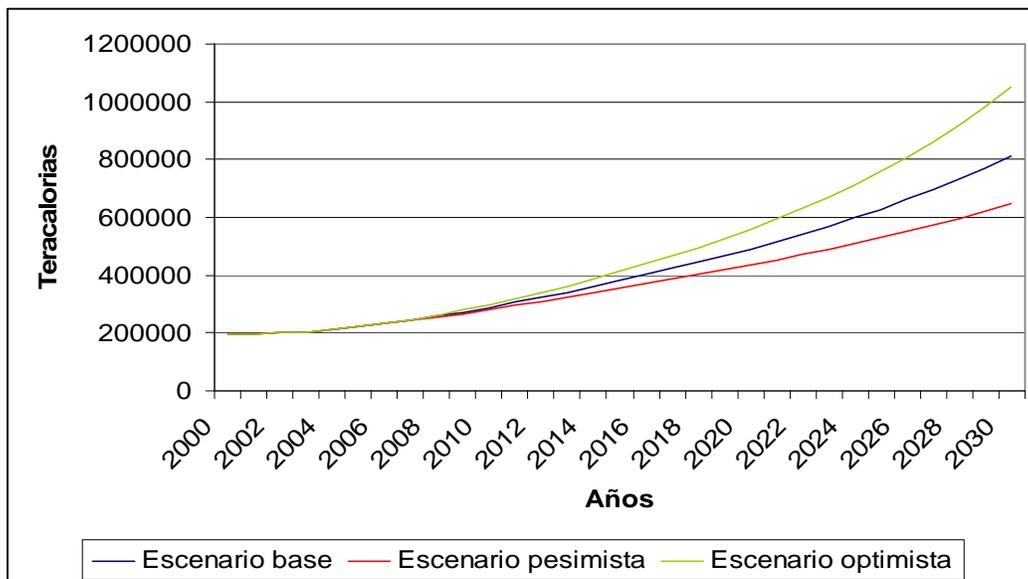
El análisis de sensibilidad consiste en generar escenarios alternativos de crecimiento y para esto se analiza un escenario optimista y un escenario pesimista, los que consisten principalmente en:

- **Escenario optimista:** Proyectar un crecimiento de un 6% promedio anual hasta el 2015 y luego un crecimiento promedio anual de un 5% hasta el 2030.
- **Escenario pesimista:** Proyectar un crecimiento de un 4% promedio anual hasta el 2015 y luego un crecimiento promedio anual de un 3% hasta el 2030.

Consumo total de energía según escenario

La siguiente figura muestra la variación en el consumo total de energía anual para los distintos escenarios de crecimiento:

Figura 106: Consumo total de energía según escenario



Fuente: Elaboración Propia

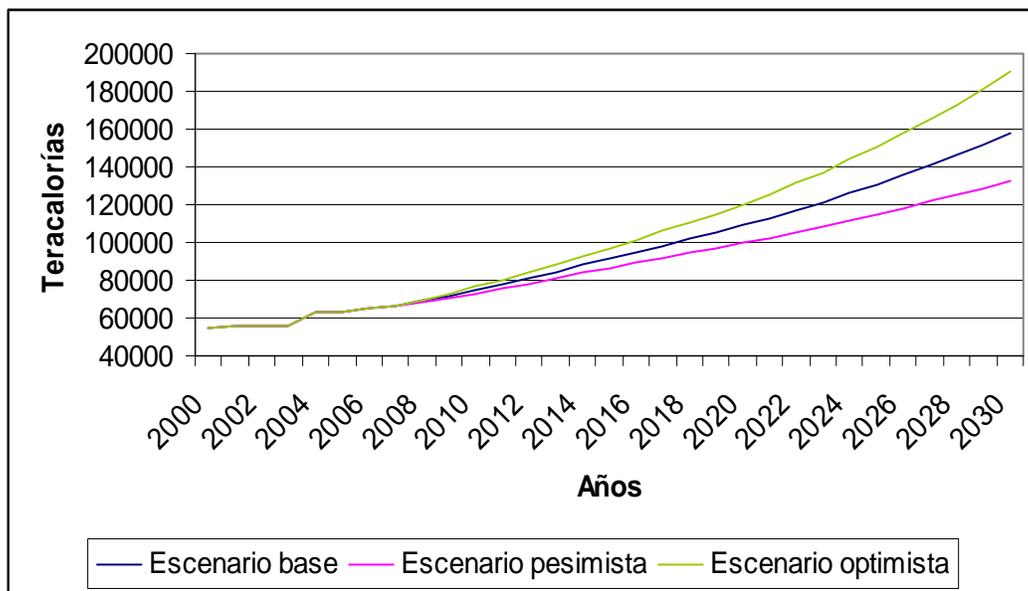
Se aprecia que para el año 2015, el escenario de crecimiento optimista (pesimista) permite proyectar un crecimiento en el consumo un 8% (7%) mayor al esperado en el escenario tendencial. Esta diferencia se hace más importante al año 2030 ya que el escenario optimista estima un 29% más de consumo que el escenario base y el de crecimiento pesimista uno 20% menor. Esta variabilidad depende principalmente de los sectores más sensibles a la evolución del PIB. A continuación se desarrolla un análisis de sensibilidad para estos sectores.

Consumo total de energía sectorial

A continuación se presentan las variaciones en el consumo sectorial generadas ante los tres escenarios propuestos.

En el siguiente gráfico se presenta la evolución del consumo del sector CPR. En este caso se aprecia que para el año 2030 el consumo en el escenario optimista es un 21% mayor que el escenario base mientras que el escenario pesimista proyecta un consumo menor en un 16%.

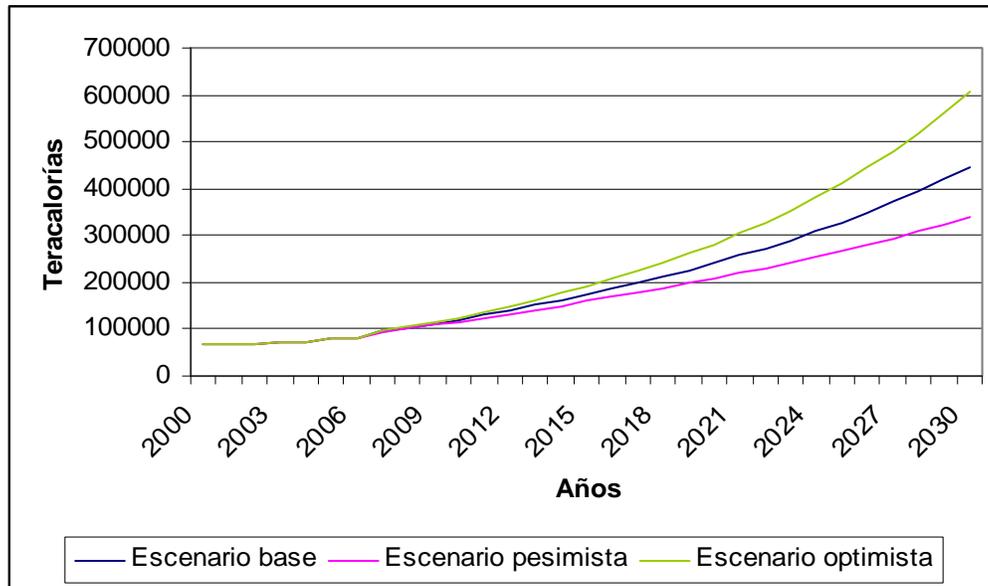
Figura 107: Consumo total de Energía Sector CPR



Fuente: Elaboración Propia

Para el sector transporte, como se muestra en el siguiente gráfico, para el año 2030 el escenario optimista estima un consumo mayor en un 36% al del escenario base, mientras que el escenario de crecimiento pesimista proyecta un consumo un 24% menor.

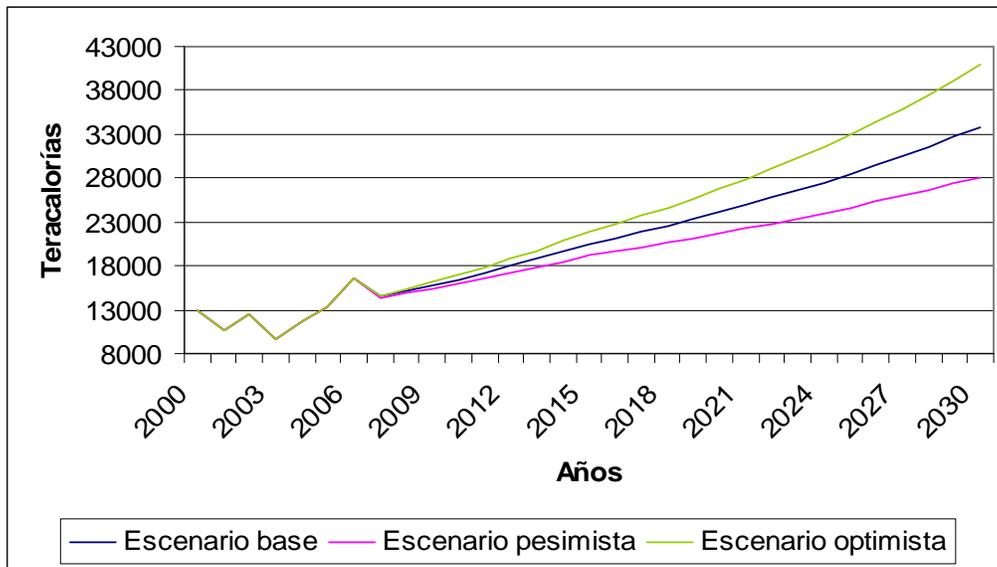
Figura 108: Consumo total de Energía Sector Transporte



Fuente: Elaboración Propia

Las diferencias presentadas en el sector de celulosa y papel son menores que en el caso anterior ya que, según el siguiente gráfico, para el año 2030, el escenario optimista estima un consumo mayor en un 21% el base, mientras que el escenario pesimista proyecta un consumo un 17% menor.

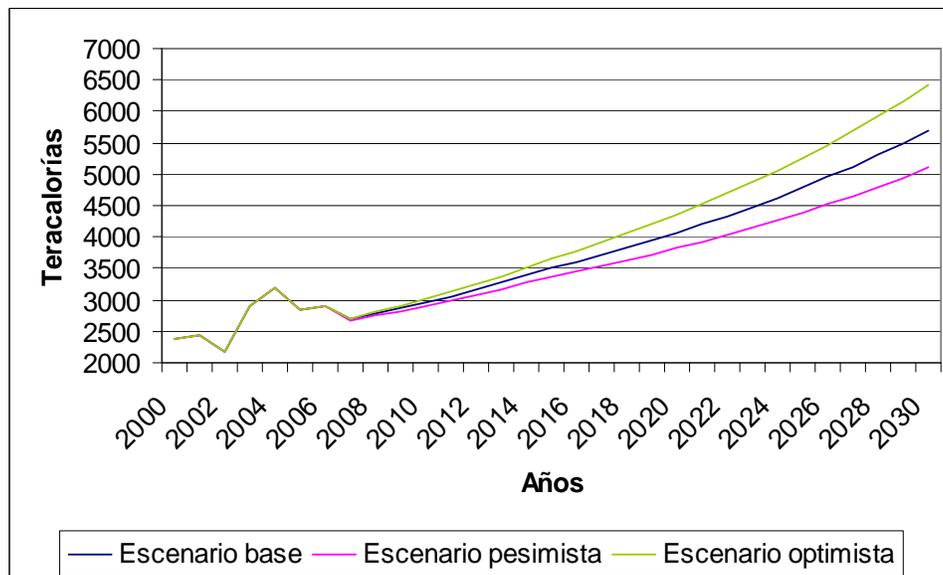
Figura 109: Consumo total de Energía Subsector Papel y Celulosa



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la siguiente figura, las variaciones en el sector de cemento son menores que las presentadas en los casos anteriores ya que, para el año 2030, el escenario optimista sobreestima el consumo base solo en un 13% mientras que el escenario pesimista subestima el consumo sectorial en un 10%.

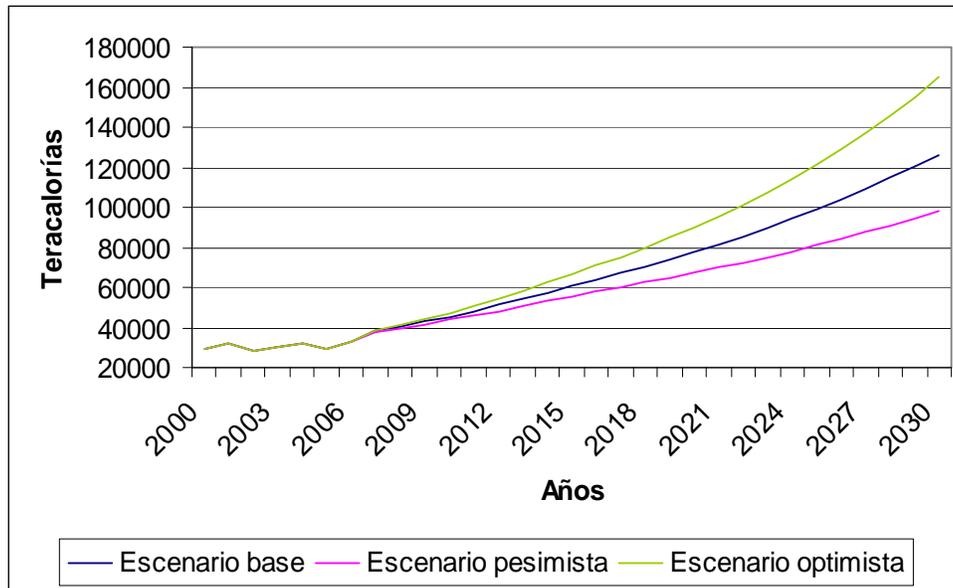
Figura 110: Consumo total de Energía Subsector Cemento



Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la siguiente figura, las variaciones en el sector de industrias y minas varias son casi tan altas como las presentadas por el sector de transporte ya que para el año 2030 el escenario optimista sobreestima el consumo base en un 30% mientras que el escenario pesimista subestima el consumo sectorial en un 22%.

Figura 111: Consumo total de Energía Subsector Industrias y Minas Varias



Fuente: Elaboración Propia

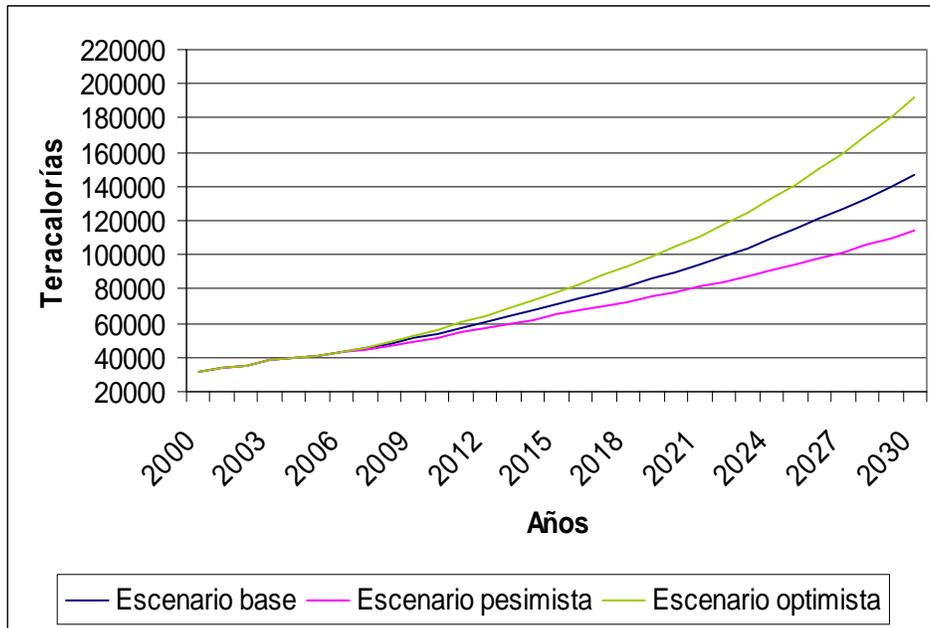
En general se aprecia que las mayores variaciones en el consumo sectorial ante cambios en el PIB se asocian a dos sectores el transporte y el de industria y minas varias. Además hay que resaltar que los modelos son más sensibles en el escenario optimista que en el pesimista.

Consumos por tipo de energético

En este punto se realizan análisis de sensibilidad en torno al consumo de los principales energéticos. Por este motivo se analizan los consumos agregados de electricidad, diesel y leña.

Como se muestra en la siguiente figura el consumo eléctrico presenta un alto grado de sensibilidad al crecimiento del PIB. Debido a esto, para el año 2030, el escenario optimista tiende a sobreestimar en un 31% el consumo calculado en el escenario base, mientras que el escenario pesimista subestima el consumo de electricidad en un 22%.

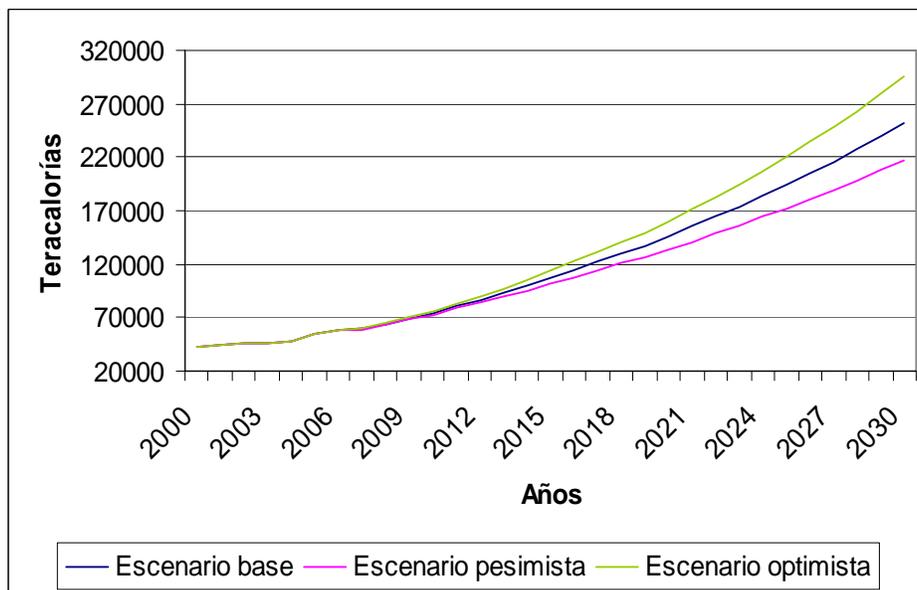
Figura 112: Consumo total de Electricidad



Fuente: Elaboración Propia

A su vez, para el consumo de diesel se aprecia una menor sensibilidad ante cambios en el PIB ya que, para el año 2030, el escenario optimista sobreestima en un 18% el consumo calculado en el escenario base y el escenario pesimista subestima el consumo de diesel en un 14%.

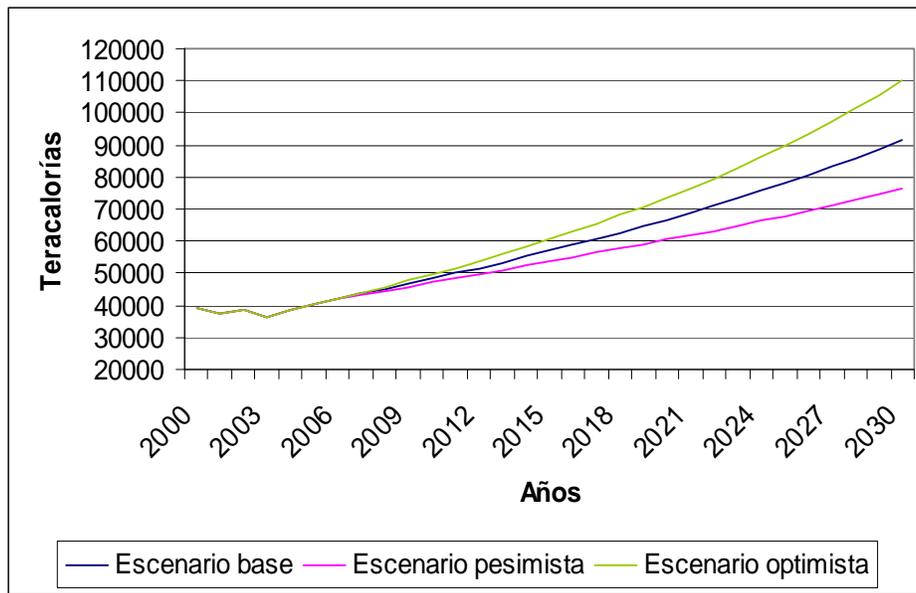
Figura 113: Consumo total de Diesel



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, el consumo de leña es presenta variaciones intermedias ante cambios en el PIB. Ya que en el escenario de crecimiento optimista se espera que para el año 2030 el consumo de leña sobreestime en un 20% el consumo determinado en el escenario base. Mientras que el escenario de crecimiento pesimista sobreestima en un 17% este consumo.

Figura 114: Consumo total de Leña



Fuente: Elaboración Propia

D. PROPUESTA PARA CONSTRUIR CURVA DE DURACION

1 Introducción

La estimación futura de la demanda eléctrica es un factor de relevancia en el estudio de la expansión y desarrollo de los sistemas eléctricos interconectados. Mientras mayor detalle se posea sobre la evolución futura de los consumos eléctricos, mejor será el nivel de análisis que se pueda realizar.

Un consumo eléctrico puede ser caracterizado a través de distintos indicadores (parámetros) que reflejan en mayor o menor detalle su comportamiento a través del tiempo. En esta sección se propone, luego de presentar antecedentes técnicos relacionados con el estudio de consumos, metodologías alternativas que permiten estimar curvas de duración de carga de consumos futuros de energía eléctrica a partir de las estimaciones generales de energía presentadas en las secciones anteriores.

2 Antecedentes

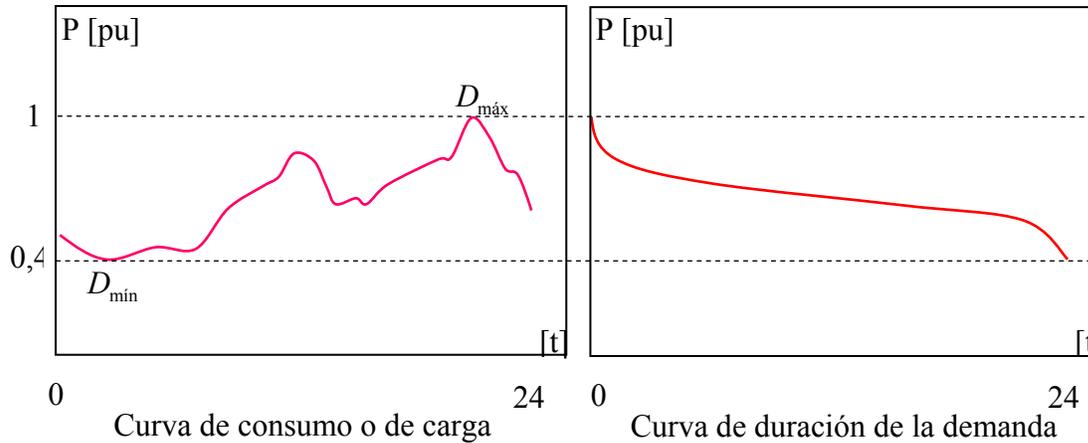
Respecto de los consumos, con el fin de poder formalizar un lenguaje para desarrollar un modelo de estimación de consumos, es conveniente realizar las siguientes definiciones preliminares:

Demanda es la potencia presente en los terminales de un sistema, promediada en un intervalo corto y especificado de tiempo (por ejemplo 15 minutos, 30 minutos o 1 hora, que es lo más común).

Consumo es la energía total solicitada en un período dado.

Las curvas de carga (diaria, semanal, anual, según sea el período considerado) se usan para considerar las variaciones lentas a lo largo del tiempo. Una forma típica para un sistema grande (en un país no tropical y donde no se emplee mucho el aire acondicionado, como Chile) es la de la siguiente figura (izquierda), con dos máximos bien diferenciados (plena ocupación industrial al final de la mañana, y superposición del alumbrado al final de la tarde). En países donde los equipos de aire acondicionado son importantes, la punta suele ser mayor al final de la mañana.

Figura 115: Representación de la demanda.



Fuente: Elaboración Propia

La curva de carga no es permanente, sino que se modifica significativamente ante la ocurrencia de situaciones especiales, como la transmisión por TV de algún evento importante, detenciones de industrias grandes, huelgas o mantenimientos, condiciones atmosféricas que adelanten la conexión del alumbrado o del aire acondicionado, etcétera.

- Demanda máxima, demanda de punta o pico de demanda es la mayor demanda que se presenta durante el período considerado (D_{\max} en la Figura 115).
- Período de máxima carga es aquel durante el cual se presentan las mayores demandas (por ejemplo, 18 a 23 horas en invierno).
- Demanda mínima o carga base es la menor demanda que se presenta durante el período considerado (D_{\min} en la Figura 115).
- El consumo o energía E utilizada durante el período total T es el área bajo la curva de carga.
- Demanda media es el cociente entre la energía consumida durante el período considerado y la duración de dicho período:

$$D_{med} = \frac{E}{T} = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T} \quad (1)$$

Valores usuales del período T son:

- 8760 horas para un año de 365 días,
 - 8640 horas si se trabaja con un año de 12 meses, de 30 días c/u,
 - 744 horas para un mes de 31 días,
 - 720 horas para un mes promedio de 30 días,
 - 168 horas para una semana.
- Factor de carga es el cociente entre la demanda media y la demanda máxima, medido en un intervalo de tiempo especificado.

$$f_c = \frac{D_{med}}{D_{max}} = \frac{E}{T D_{max}} \quad (2)$$

El factor de carga varía entre 12% (consumos domiciliarios) y cerca de un 100% (por ejemplo, industria minera intensiva).

- Factor de demanda es la relación entre la demanda máxima de uno o varios consumidores durante un período especificado y la potencia eléctrica instalada (P_{inst}) por ese o esos consumidores. Este factor mide la utilización real que se hace del equipo instalado:

$$f_{dem} = \frac{D_{max}}{P_{inst}} \quad (3)$$

- Diversidad es la no-coincidencia horaria de las demandas máximas individuales alimentadas por un sistema.
- Factor de diversidad es el cociente entre la suma de las demandas máximas individuales $D_{max,i}$ y la demanda máxima del conjunto D_{max} .

$$f_{div} = \frac{\sum_i D_{max,i}}{D_{max}} \quad (4)$$

Para agrupaciones grandes de consumos (regiones), el factor de diversidad varía entre 1,03 y 1,10 mientras que en el caso de las industrias, lo hace entre 1,1 y 1,3, aproximadamente.

- Factor de coincidencia es el recíproco del factor de diversidad.
- La curva de duración de la demanda (Figura 115 derecha) presenta también las demandas del período considerado, pero ordenadas de mayor a menor. Los ejes pueden ser expresados en MW y horas, o en tanto por uno, en cuyo caso se les puede dar el significado de probabilidades. El área bajo la curva es la energía consumida en el

período si los ejes están en MW y h, o el factor de carga del período si los ejes están en tanto por uno.

Cuando no hay datos suficientes o detallados o bien en estudios preliminares, suelen usarse representaciones aproximadas de la curva de duración, tales como la recta de expresión:

$$d = \frac{D}{D_{\max}} = 1 - \sqrt{3}(1 - f_c)t \quad (5)$$

o también la curva de expresión:

$$d = 1 - (1 - f_c^2)t^{f_c} \quad (6)$$

3 Metodología propuesta

Es de interés poder realizar estimaciones anuales del consumo de electricidad del país, atendiendo a los siguientes criterios:

- Abordar un horizonte de análisis de 30 años.
- Se desea conocer al menos el consumo anual de energía y las demandas máximas que enfrentaría el sistema.
- Es deseable conocer las estimaciones para el país completo, el sistema interconectado del norte grande (SING) y el sistema interconectado central (SIC).
- Hacer uso del modelo de proyección propuesto en este trabajo.
- Permitir un análisis de sensibilidad de los parámetros críticos.

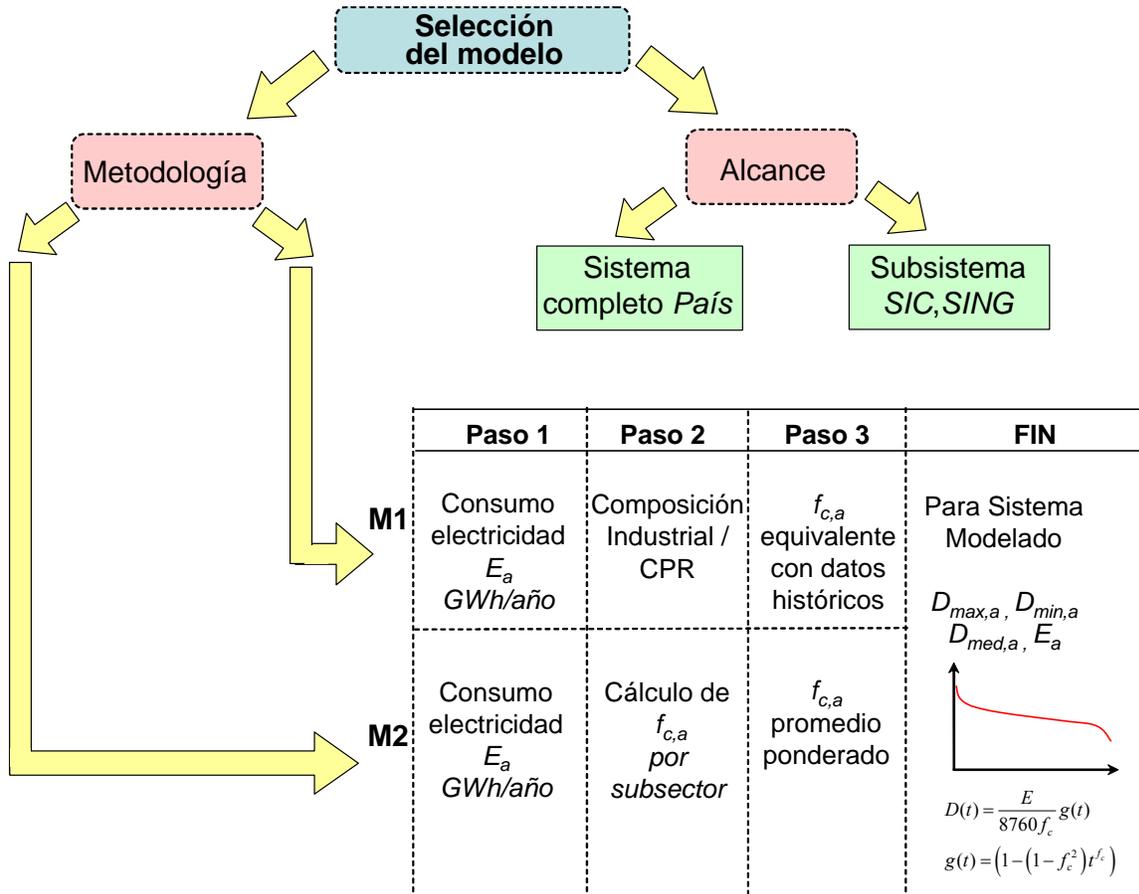
Respecto del modelo de proyección propuesto en este trabajo, cabe señalar que este es capaz de estimar consumos anuales de energía eléctrica para los siguientes sectores:

- Sector transporte,
- Sector Industrial y Minero,
- Sector Comercial, Público y Residencial (CPR),
- Otros Sectores.

En cada uno de estos sectores se consideran subsectores específicos que permiten una desagregación mayor de las estimaciones.

En función de estos antecedentes, se propone el siguiente esquema general con metodologías alternativas para la estimación del consumo eléctrico.

Figura 116: Modelaciones alternativas



Fuente: Elaboración Propia

Un primer elemento a determinar corresponde al alcance del modelo. En la medida que se desee analizar el país completo la metodología debería tener un alcance “País”. Esto es especialmente válido si se desea estudiar un escenario donde los sistemas interconectados del país se unan.

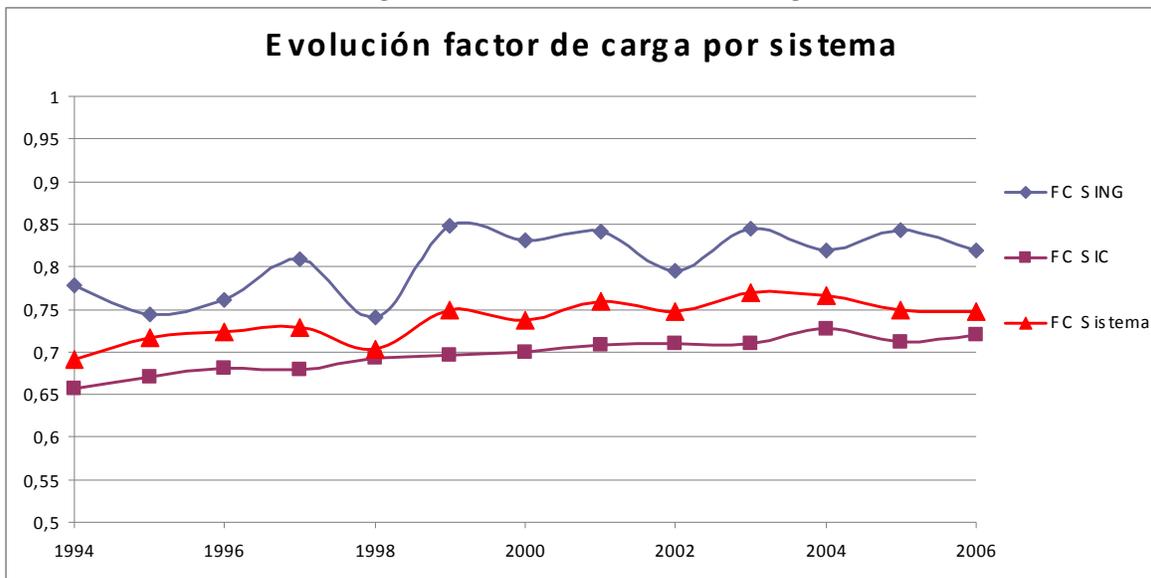
Por otro lado, se proponen dos metodologías alternativas de estimación:

Metodología 1

Del modelo de estimación de consumos propuesto en este trabajo se dispone de una estimación global del consumo de electricidad para el sistema seleccionado en un año

determinado (paso 1). Asimismo, el análisis por subsector permite determinar porcentualmente la componente energética CPR e industrial del consumo estudiado (paso 2). El resultado del paso puede ser utilizado para estimar un factor de carga del subsistema seleccionado. La siguiente gráfica muestra la evolución histórica del factor de carga para el SING y el SIC y para el sistema conjunto suponiendo un factor de coincidencia unitario.

Figura 117 Evolución del factor de carga



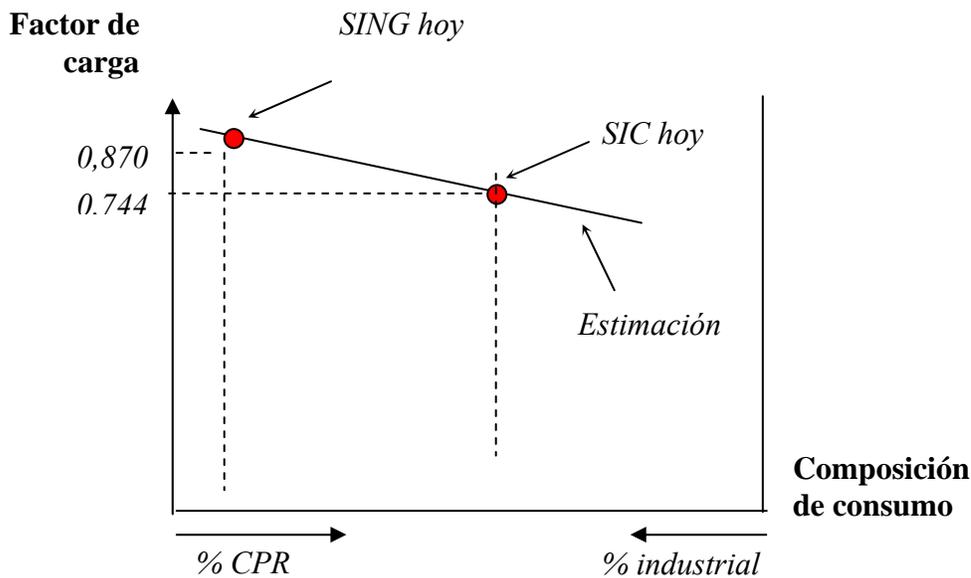
Fuente: Elaboración Propia

Si se supone un desarrollo tendencial para los próximos años, la evolución histórica es consistente con los valores utilizados por la CNE en la última fijación de precios de nudo:

- Factor de carga SIC de 0,744.
- Factor de carga SING de 0,87.

Asimismo, en el caso de cambios estructurales importantes en la composición del consumo eléctrico, es posible interpolar o extrapolar el factor de carga del subsistema seleccionado. La siguiente figura muestra un esquema general de cálculo.

Figura 118: Estimación del factor de carga



Fuente: Elaboración Propia

A través del conocimiento actual de los factores de carga de nuestros subsistemas y de su composición industrial/CPR, es posible establecer la estimación lineal mostrada en la Figura 115. De esta forma estimando una composición futura de los consumos, es factible estimar el factor de carga del sistema o subsistema (paso 3).

Conocida la energía anual y el factor de carga, es posible aproximar de la curva de duración de carga presentada en la sección anterior como

$$D(t) = \frac{E}{8760 f_c} (1 - (1 - f_c^2) t^{f_c}) \quad (7)$$

Consecuentemente, se pueden conocer para cada año de estudios los valores de Dmax, Dmin, Dmed. (paso 4).

Metodología 2

El primer paso de esta metodología es análogo al descrito para la metodología 1. Sin embargo, en el proceso de cálculo de la energía para cada subsector, junto con suponer factores de conversión de energía eléctrica asociados a la evolución de la actividad de cada subsector, se estima un factor de carga para cada subsector específico. Esta estimación se basa en un conocimiento de los procesos productivos asociados, el que es fácil de respaldar con mediciones en terreno (paso 2).

Con los resultados del paso 2 es factible estimar un factor de carga para el sistema en el año de estudio, el que corresponde a un promedio ponderado de los factores de carga calculados

para cada subsector en conformidad con su aporte energético relativo. En este cálculo puede ser necesario estimar un factor de diversidad asociado a los consumos de manera de reflejar la dinámica diaria o estacional de los distintos procesos productivos. El factor de diversidad puede calcularse a través de una calibración del modelo con datos estadísticos de años recientes (paso 3).

Por último, conforme a lo explicado para la metodología 1, conocida la energía anual para el sistema en estudio y el factor de carga asociado, es factible una estimación de la curva de duración de carga y sus parámetros distintivos (paso 4).

Cabe mencionar que en el caso de estudiar subsistemas como el SIC o SING, esa metodología requiere de un tratamiento diferenciado por subsistema de los modelos de actividad de cada subsector.

4 Aplicación

En esta sección se describirá en detalle la aplicación de la metodología propuesta para poder realizar una proyección de la demanda máxima por sistema (SIC, SING). La aplicación que se muestra más abajo se basa en la implementación de la metodología 1 propuesta en este estudio. Para ello se necesita determinar la composición de la demanda de cada sistema en términos de consumo de los sectores CPR e industrial, y los factores de carga de cada sistema para el año base, en este caso 2006.

El primer paso consiste entonces en determinar la composición CPR(%) e Industrial(%) de cada sistema. Dada la desagregación por sectores de que se dispone para los pronósticos de consumo de energía eléctrica, se propone asociar cada uno de ellos a los respectivos sistemas interconectados (SIC, SING) de acuerdo a como se muestra en el cuadro 5:

CUADRO 5: Composición de demanda de energía eléctrica por sistema

SIC		SING	
Sector	Participación	Sector	Participación
CPR	parcial*	CPR	parcial
Papel y celulosa	total**	Minería	parcial
Minería	parcial	Industria y minas varias	parcial
Cemento	total		
Industria y minas varias	parcial		
Otros	total		

Nota: * Indica que el consumo total de este sector se distribuye entre ambos sistemas

** Indica que el consumo total de este sector se asocia a un único sistema

Del cuadro 5 se observa que los sectores Papel y celulosa, Cemento y Otros no representan dificultad, puesto que se asocian a un solo sistema, en este caso, el SIC. Por otro lado, el consumo de los sectores: CPR, Minería, e Industria y minas varias si debe distribuirse entre

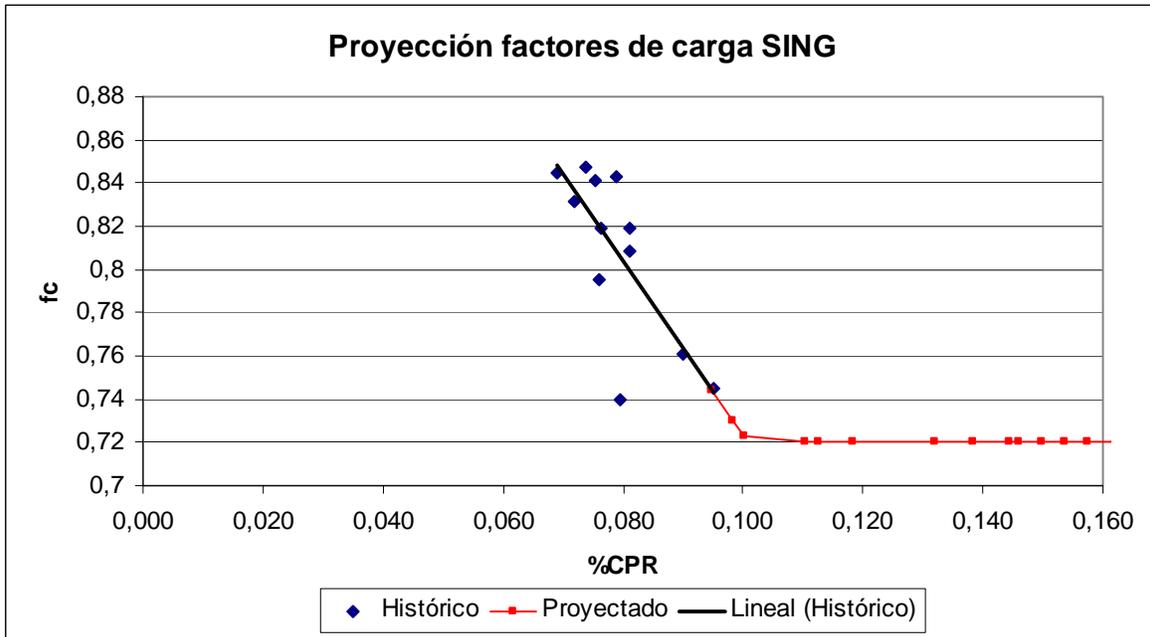


ambos sistemas. Para el caso del sector CPR, la desagregación de consumo fue realizada utilizando la proyección de población por sistema de acuerdo a las proyecciones demográficas realizadas por CELADE. En el sector minería, el parámetro utilizado para realizar la desagregación descrita fueron las proyecciones de consumo de energía del sector realizadas por Cochilco para el período 2007-2030 e información sobre futuros proyectos mineros. Finalmente, en el caso de Industria y minas varias la desagregación se realizó usando como base los datos obtenidos de la encuesta de consumos de energía eléctrica realizada por el INE.

Una vez determinados los consumos de sectores por sistema, la participación porcentual en la demanda de energía del sector CPR se determina considerando solamente su consumo propio y mediante la suma de los demás sectores se determina la participación porcentual del sector industrial.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, para el sistema SIC en 2006, la proporción de consumo del sector CPR es de 38,8% y la componente industrial corresponde al 62,2% restante. Por otro lado, en el caso del SING, el consumo del sector CPR equivale a un 8,1% y la industria representa el 91,9% restante. De igual manera, se obtienen los puntos característicos por sistema para el período 1995-2006, en los anexos de este informe se presentan las Tablas que muestran los datos históricos y proyectados usados en este estudio. Esto permite generar un conjunto de puntos para cada sistema, sobre los cuales se proyectará una línea recta que permitirá la proyección del factor de carga de acuerdo al cambio estructural en el consumo de energía, en este caso, considerando la variación del consumo CPR respecto del total. Las figuras 119 y 120 muestran las rectas obtenidas para cada sistema y los valores de factor de carga proyectados para cada uno de ellos.

Figura 119: Factores de carga y participación sectorial del consumo SING

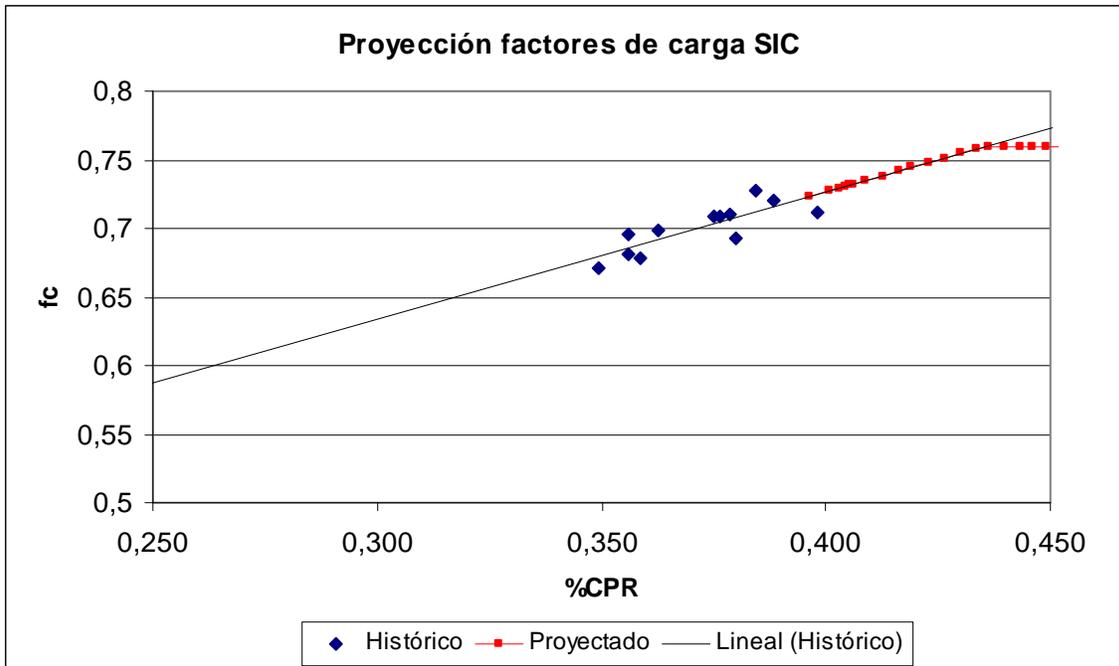


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 119 se observa que la recta obtenida es de pendiente negativa, lo que significa que en la medida que aumente el consumo del sector CPR el factor de carga disminuirá. Esto se debe a que el SING es un sistema en el que el comportamiento de la demanda se rige en gran medida por el régimen de operación de las faenas mineras. Asimismo, dada la característica industrial de la demanda en el SING se puede imponer un factor de carga mínimo por el poco consumo del sector CPR en relación con el total, en este sentido se impone una cota mínima para sistemas eléctricos con estas características que para el caso en estudio es de 0,72. Por tal razón, se observa que los fc proyectados (línea roja) saturan hacia abajo en el nivel previamente fijado. En cuanto a la proyección, la tendencia lineal obtenida corresponde a la siguiente ecuación:

$$fc = -4,0206(\%CPR) + 1,1255 \quad (8)$$

Figura 120. Factores de carga y participación sectorial del consumo SIC



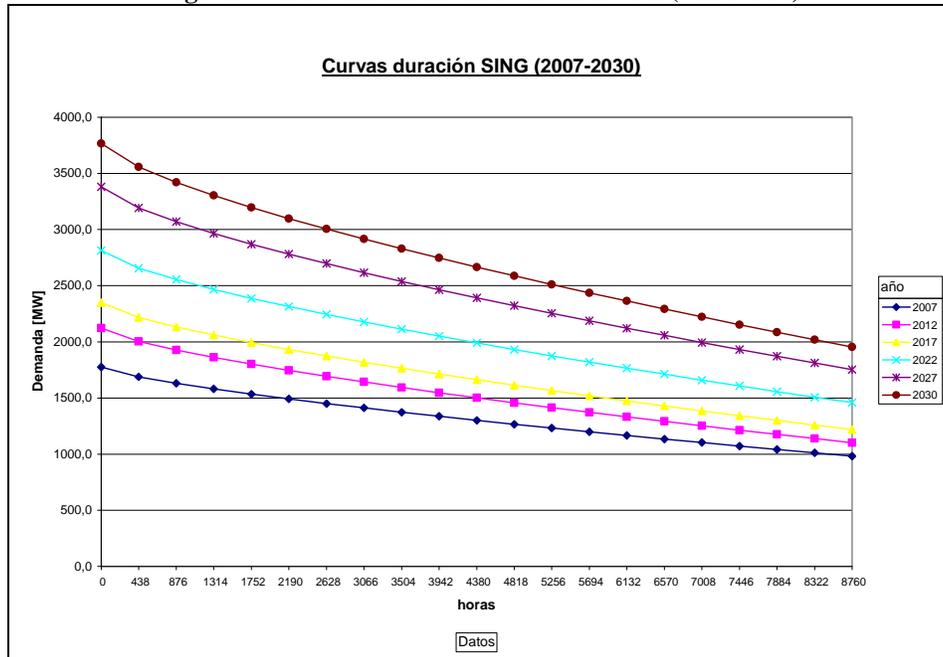
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, para el caso del SIC, ver figura 120, el comportamiento histórico del factor de carga corresponde a un cambio estructural opuesto al del SING, es decir éste aumenta en la medida que el consumo del sector CPR crece. Lo que corresponde a una recta de pendiente positiva. En cuanto a los datos proyectados (puntos rojos) también se impuso una cota, en este caso superior, en concordancia con el comportamiento de la demanda en sistemas con alta participación de consumos residenciales, públicos y comerciales. A diferencia del SING, en el SIC el sector CPR es energéticamente mas intensivo y grandes centros de demanda, caso Santiago, están pasando de ser dependientes de actividades industriales a sociedades prestadoras de servicios, fenómenos que contribuyen al comportamiento observado del fc . Dados estos antecedentes, la cota superior fue fijada para un factor de carga de 0,76. La proyección entonces satura en 0,76 y para valores menores obedece a la siguiente ecuación:

$$fc = 0,9269(\%CPR) + 0,3558 \quad (9)$$

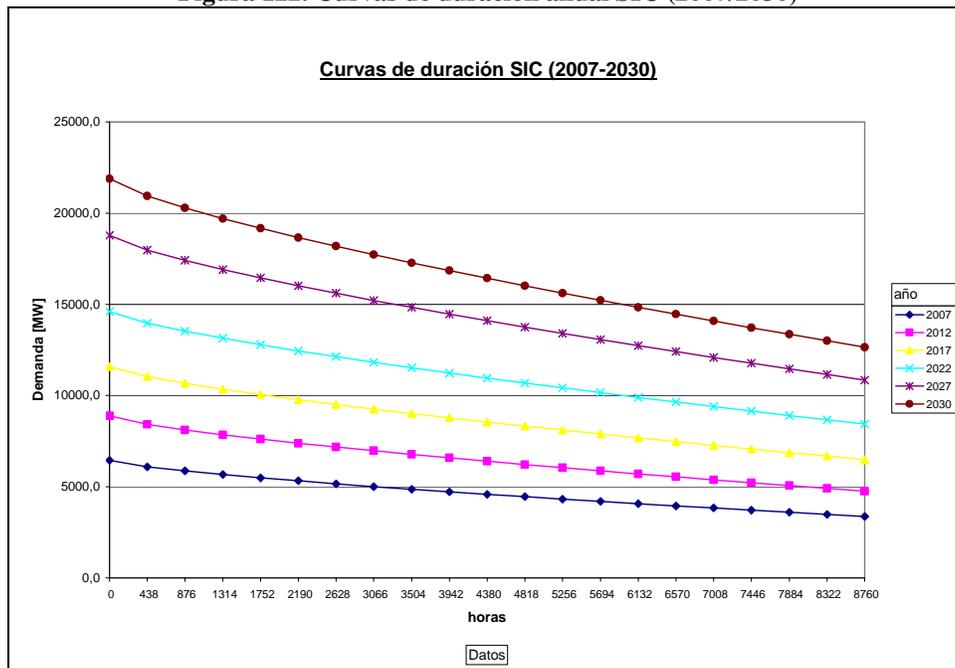
Una vez estimados los factores de carga por sistema para el período de planificación bajo estudio resta calcular la curva de duración anual de acuerdo a la ecuación (7). Las figuras 121 y 122 muestran las curvas de duración obtenidas para SING y SIC respectivamente, para los años comprendidos en el período bajo estudio en intervalos de 5 años para facilitar su observación.

Figura 121. Curvas de duración anual SING (2007/2030)



Fuente: Elaboración Propia

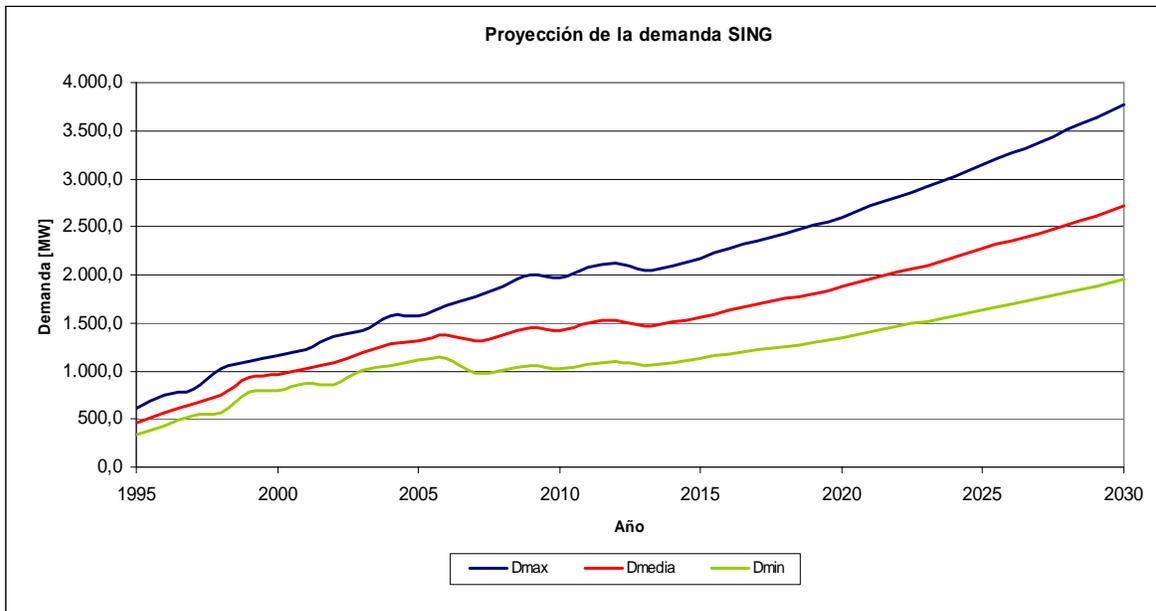
Figura 122. Curvas de duración anual SIC (2007/2030)



Fuente: Elaboración Propia

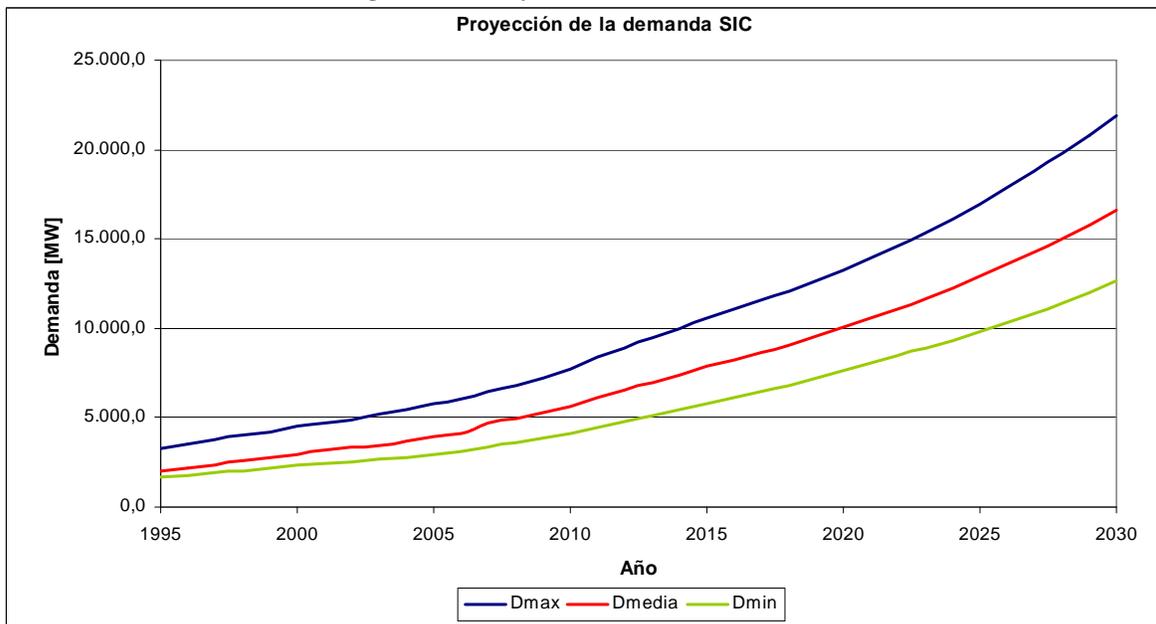
Finalmente, obtenidas las curvas de duración se pueden calcular los valores de demanda máxima, demanda media y demanda mínima del SIC y SING. Las figuras 123 y 124 muestran las proyecciones por sistema interconectado.

Figura 123. Proyección de la demanda SING



Fuente: Elaboración Propia

Figura 124. Proyección de la demanda SIC

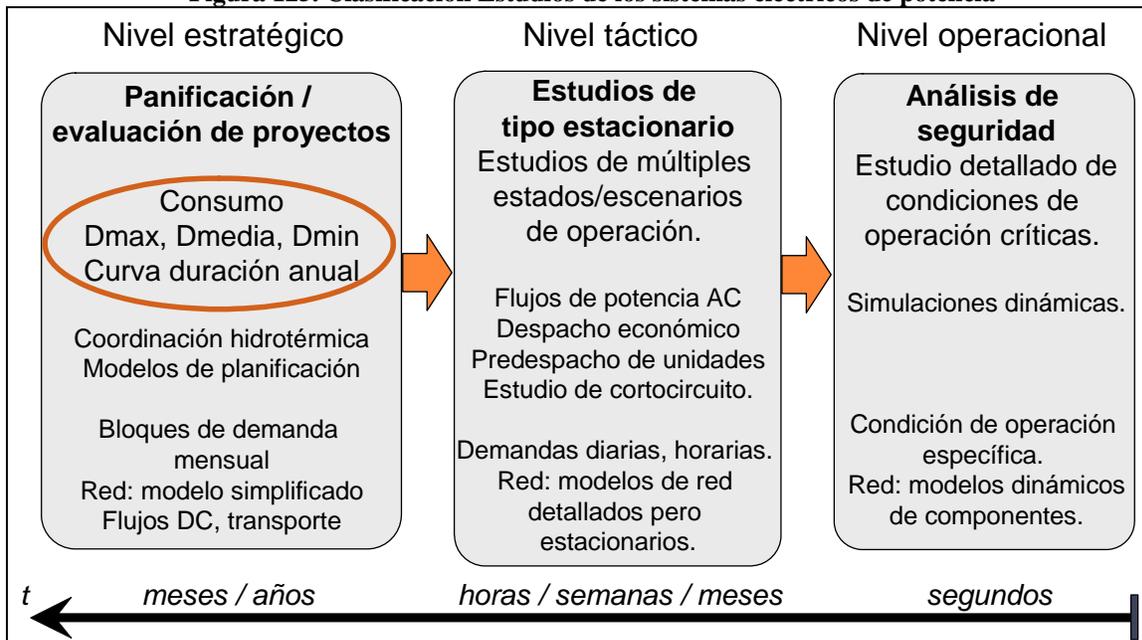


Fuente: Elaboración Propia

5 Uso de modelos de estimación

Los modelos de estimación de consumos pueden ser utilizados como información de entrada en distintos tipos de estudios de los sistemas eléctricos de potencia. La siguiente figura muestra una clasificación de este tipo de estudios según su alcance estratégico, táctico u operacional.

Figura 125. Clasificación Estudios de los sistemas eléctricos de potencia



Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de estos involucra niveles de detalle distinto tanto en lo que se refiere a la demanda como a los parámetros del resto del sistema. A modo de ejemplo en estudios operacionales que buscan evaluar la seguridad de un sistema eléctrico, sólo se requiere la información de demanda para situaciones de operación específicas, las que sirven de situación base para estudios dinámicos. De esta forma es posible evaluar la estabilidad de un sistema eléctrico frente a perturbaciones. A nivel táctico, las demandas pueden ser descritas en forma diaria, en etapas horarias. De esta forma, a través de herramientas, tales como el predespacho de unidades, es posible evaluar el desempeño del parque generador y detectar posibles problemas (coordinación de unidades, precios, congestiones) en la operación estacionaria del sistema.

Por último, a nivel estratégico, los estudios tienden a simplificar la modelación de la red eléctrica a favor de una representación adecuada de las incertidumbres para horizontes de análisis anuales, en etapas mensuales. En el caso de Chile, en el sistema interconectado



central, es común el uso de herramientas de coordinación hidrotérmica para simular la operación esperada del sistema, realizando un uso optimizado de los recursos hidráulicos del sistema. En este tipo de análisis la red es modelada a través de modelos de transporte o bien con flujos de potencia linealizados.

El modelo desarrollado aporta con información en el ámbito estratégico, para conocer anualmente en forma estimada las energías demandadas, la curva de duración de carga asociada, factores de carga, demandas máximas, medias y mínimas esperadas.

De esta forma, utilizando los criterios actualmente en aplicación por parte de la CNE, es factible completar la información necesaria para estudios de carácter estratégico. Estos criterios pueden ser perfeccionados a futuro en el marco de estudios detallados de la distribución espacial y temporal de la demanda en el sistema.

E. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO DE PROYECCION DE CONSUMO ENERGÉTICO FUTURO

En este estudio se propone y aplica un modelo para proyectar el consumo de energía final de Chile hasta el año 2030, considerando los principales sectores consumidores. Además, con las proyecciones del consumo eléctrico sectorial y agregado se hace un ejercicio que permite estimar las curvas de duración anual y las proyecciones de demanda eléctrica diferenciada espacialmente entre los sistemas interconectado Central (SIC) y del Norte Grande (SING). A continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que emanan del estudio.

Conclusiones

El modelo seleccionado para este fin es de carácter híbrido, basado en un enfoque sectorial, que combina un análisis econométrico cuando las tendencias parecen robustas para el sector y opinión experta y análisis de uso final cuando se esperan cambios en estas tendencias. Se sigue con ello lo práctica creciente en el mundo para proyectar consumos energéticos en el largo plazo y hacer planificación estratégica del sector. Por cierto este tipo de modelo no pretende replicar fluctuaciones asociadas a *shocks* de corto plazo como por ejemplo el impacto de variaciones en los precios de los energéticos.

Un modelo híbrido de estas características permite integrar tanto los aspectos físicos como económicos en un marco común. Por ejemplo, mientras las relaciones econométricas internalizan los efectos de precios, ingresos o políticas del pasado, el enfoque de uso final acomoda nuevos usos finales, mezclas alternativas de combustibles, penetración de artefactos y tecnologías, patrón de crecimiento de la producción física o su valor, la población, emisiones y la distribución del ingreso entre segmentos. El enfoque híbrido permite así acomodar cambios esperados no tendenciales, en particular la abrupta reducción en la disponibilidad de gas natural desde Argentina.

En efecto, la componente econométrica del modelo propuesto incorpora de manera implícita en sus parámetros los cambios tecnológicos y la sustitución entre energéticos ocurridos en el periodo para los cuales hay datos. Asume un enfoque de función de producción al relacionar la producción anual de cada subsector con consumos energéticos, basado en la relación entre estos parámetros observados en el pasado. Por lo anterior, las proyecciones asumen que las evoluciones históricas en estas variables se mantienen en el tiempo y no incorporan la aparición de tecnologías o cambios en precios relativos sustancialmente diferentes a los vistos en el pasado, o que puedan generar cambios estructurales. Si no se esperan cambios en las tendencias pasadas, esta aproximación puede considerarse apropiada, y tiene la ventaja de no exigir disponer de muchos datos tecnológicos.

Aplicando el enfoque propuesto se hacen proyecciones para los sectores Industrial y Minero; de Transporte; y Comercial, Público y Residencial basadas en correlaciones con variables cuya variación futura se puede estimar de manera relativamente simple. Para los subsectores energo intensivos del sector Industrial y Minero se proyecta la producción futura del subsector en base a tendencias y opinión experta y asocia luego un consumo energético. Los consumos del sector transporte se relacionan con el parque futuro de cada tipo de vehículo asumiendo patrones de consumo parecidos al pasado por vehículo. Los consumos de los demás sectores se relacionan con el crecimiento del producto interno bruto, variable con la cual resultaron estar estrechamente correlacionadas. Para cada sector se han considerado múltiples energéticos, en particular electricidad, derivados del petróleo, gas natural, carbón y leña.

En general, los modelos desarrollados tienen un buen ajuste frente a los datos históricos. La única excepción es la estimación del consumo de leña que resultó poco robusta. Esto puede ser explicado por problemas en la medición de los datos entregados por el balance de energía, Por ello se sugiere a futuro realizar un estudio específico del consumo actual y futuro de este energético por sector y de las tendencias sectoriales esperadas en su consumo.

Los resultados muestran que el consumo de energía final entre los años 2007 y 2030 aumentará 3,3 veces, a una tasa promedio de 5.4% anual. Chile pasará de consumir 245.000 tcal año a 812.000 tcal año en este periodo. El sector Industrial aumentará su consumo 2,5 veces, el sector CPR 2,4 veces y Transporte 4,7 veces. Como resultado, el sector transporte pasará de representar el 38% del consumo final el año 2007 al 54% el año 2030, siendo por lejos el sector más importante en cuanto a consumidor de energía final.

Respecto de los consumos por energético, cabe destacar el notable aumento esperado en el consumo eléctrico y de diesel. En efecto el sector Eléctrico aumenta 3,2 veces y Diesel 4,2 veces. El mayor crecimiento de electricidad surge del crecimiento del consumo del sector CPR que aumenta 4,2 veces en el período. El consumo de diesel en cambio se ve afectado por el aumento de su consumo en el sector transporte (4,9 veces). Petroleos combustibles aumenta 7 veces influenciado por el fuerte aumento en el transporte marítimo. La leña por su parte, muestra un crecimiento esperado de 2,1 veces, influenciado por el aumento del consumo en el sector Industrial (2,9 veces). No se aprecia un mayor aumento en el consumo final de carbón debido a que este energético se usa básicamente para generar electricidad, por tanto corresponde a consumo intermedio y no se considera en este estudio.

Un análisis de sensibilidad considerando tasas de crecimiento “optimistas” (un punto superior al caso base) y “pesimistas” (un punto menos) genera un rango para los valores de consumo energético final. Bajo un escenario de crecimiento alto (bajo), el consumo de energía al año 2015 sería un 8% superior al de línea base (7% inferior) y al 2030, un 29% más alto (20% menor), superando el millón de Tcal/año.

Para planificar el desarrollo del sector eléctrico es importante relacionar la energía promedio anual con la demanda (potencia) media y máxima requerida para satisfacer ésta. Para ello, se propone una metodología relativamente simple, basada en el factor de carga de cada sistema, que corresponde al cociente entre la demanda media y máxima. Este factor depende de los tipos de consumo conectados al sistema eléctrico, siendo menor para aquellos con alto consumo del sector CPR y mayores para los con alto consumo industrial. Para el SIC este factor fue de 0,74% el año 2006 y para el SING de 0,87%, reflejando un mayor consumo relativo industrial de este último.

Para examinar el desarrollo espacial de la demanda eléctrica final se ha separado ésta entre el SIC y el SING. En base a la energía requerida y los factores de carga esperados cada año para cada sistema se proyectó la demanda anual por sistema entre el 2007 y 2030. Los resultados muestran que la demanda eléctrica media del SIC se más que triplicará, pasando de 5.000 MW el 2007 a casi 17.000 MW el 2030 y la máxima de casi 7.500 MW a 22.000 MW en el mismo periodo. Para el SING, la demanda media (máxima) se duplicará, pasando de 1.400 MW (2.000 MW) a casi 2.700 MW (3.750 MW) en el periodo.

Recomendaciones para el Desarrollo de Futuros Modelos de Consumo Energético Final

A continuación se hacen recomendaciones específicas para el desarrollo futuro de modelos de estimación de consumo de energía final. En el anexo 9 se presenta una descripción más detallada de los sectores a analizar y los parámetros y variables que serían deseables de modelar.

Mejorar información sobre leña/biomasa. Los resultados anteriores se basan en antecedentes secundarios disponibles de consumos finales de cada energético por sector a partir de antecedentes del balance de Energía de la CNE. Una primera recomendación es mejorar la serie de datos para el consumo final e intermedio de leña ya que éste se estima deficiente. Esto es relevante para determinar la evolución esperada de este consumo y las sustituciones esperadas con otros energéticos. La leña y biomasa se usarán de manera creciente para generar electricidad y calor en la industria, en particular si reemplazan combustibles fósiles. Esta sustitución se verá incentivada por el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, apoyado por recursos externos. Por otra parte existen restricciones de disponibilidad de este energético que deben incorporarse en el análisis. La inadecuada información disponible no hace posible un buen análisis de lo anterior.

Analizar por sector y energético si los factores promedio de consumo obtenidos se mantendrán en el tiempo. Los modelos desarrollados para cada sector y energético permiten una proyección simple de los consumos energéticos finales. Los resultados se basan en las tendencias observadas de consumo asociadas a los diversos niveles de producción o consumo futuros de los principales sectores.

El incremento de los consumos esperados al 2030 se proyecta sin considerar mayores efectos de las políticas de eficiencia energética desarrolladas hasta ahora de manera incipiente en Chile. Tampoco se examina de manera diferenciada el efecto esperado de cambios en los quintiles de ingreso sobre estos consumos. No se consideran los efectos sobre las tendencias de consumo de los cambios en los precios absolutos y relativos de los energéticos. Finalmente, los cambios tecnológicos o de disponibilidad energética no se incorporan de manera explícita a menos que haya algún cambio sustancial, como es el caso de disponibilidad de gas natural. Sin embargo cada una de éstas podría tener un efecto importante sobre la demanda energética, en particular la eléctrica y su efecto debería estudiarse en más detalle.

Para mejorar esta estimación, es necesario en primer término, realizar un análisis por sector respecto de si los factores promedio estimados reflejan bien los cambios esperados a futuro para cada energético. En caso contrario deberán corregirse. Esto se hizo de manera inicial en base a opinión experta, pero debe hacerse de manera más sistemática por sector. Por ejemplo, se puede hacer en base a un benchmarking tecnológico a nivel mundial para los sectores energo intensivos y del impacto de políticas de eficiencia energética para CPR. El problema de estas correcciones es que son ad-hoc y requieren supuestos fuertes por parte del modelador.

Sería interesante desarrollar un análisis de la evolución esperada de los ingresos por quintil hasta el 2030, y un análisis por separado para cada uno de las implicancias en la demanda energética del sector residencial.

Profundizar los análisis de sustitución entre energéticos. Esto se realizó en base a opinión experta y los datos disponibles, en particular entre gas natural y otros energéticos y diesel y petróleo combustible. Es necesario profundizar lo realizado considerando en mayor detalle las sustituciones entre energéticos en el sector de industrias y minas varias, idealmente separando ambos subsectores (existen antecedentes para ello al menos desde 1996); además para cemento que permite sustitución entre diversos combustibles. Se requiere analizar con más detención el impacto esperado de la desaparición del gas natural sobre los sectores que más lo utilizan; lo mismo se debe hacer para los sectores que consumen leña. También deben examinarse el uso de combustibles que no se correlaciona bien con la variable independiente considerada. Por ejemplo, “otros combustibles” tiene una mala correlación con PIB para el sector CPR, lo que dificulta una buena estimación para éste.

Hacer análisis de otros escenarios de interés para la autoridad. Los modelos desarrollados permiten sensibilizar en torno a producción sectorial y PIB y solo se hizo esto último. También se pueden hacer supuestos diferentes respecto del crecimiento del parque de vehículos, en particular livianos y comerciales diesel; o asumir cierta tendencia a la reducción de ciertos consumos en base al análisis de benchmarking sugerido antes.

Extender la modelación hacia un modelo de uso final en sectores con impacto importante en los consumos eléctricos. Una extensión natural para este tipo de análisis de largo plazo consiste en utilizar modelos de uso final. En particular se sugiere como siguiente etapa implementar el modelo LEAP que a pesar de no ser específicamente diseñado para proyección de consumo, lo permite con relativa simpleza. Debido al amplio grado de detalle que requiere este modelo, es necesario un mayor plazo para elaborarlo y focalizar solo en los sectores en que los cambios tendenciales no reflejan apropiadamente lo que se espera para el largo plazo.

Otro criterio para una primera etapa es implementar en mayor detalle aquellos sectores en los que se espera haya un impacto importante de políticas de eficiencia energética. Por ello se propone inicialmente abordar el sector CPR y los subsectores industriales intensivos en consumo de electricidad. En una segunda etapa se puede incorporar el subsector de industrias y minas varias, examinando en más detalle los procesos específicos que incluye. Finalmente, parece aconsejable incorporar el sector transporte en más detalle ya que se esperan cambios importantes de tecnología al incorporar vehículos con crecientes exigencias ambientales.

Esto tiene varias ventajas, respecto de lo ya realizado.

- El LEAP permite trabajar con un nivel de agregación alto. Las proyecciones econométricas realizadas serían un insumo útil, por lo que se aprovecharía el trabajo realizado.
- No tiene las exigencias de información del MAED.
- Permite elaborar distintas opciones de política asociadas principalmente a criterios de eficiencia energética y la incorporación de nuevas tecnologías y combustibles.
- Permite evitar el problema de cambios macro ad-hoc al variar los parámetros estimados de manera econométrica. Al haber suficiente detalle en cada sector, los cambios que se incorporan al modelo reflejan con mayor realismo los cambios tecnológicos o de comportamiento esperados que los cambios ad-hoc antes señalados.
- Se puede estimar la demanda derivada de energéticos del sector eléctrico. Con ello se puede estimar el consumo energético *total* al incorporar la demanda por energía de centros de transformación. En particular se puede proyectar la demanda futura de carbón.
- El LEAP permite además analizar el impacto sobre el consumo total de energía de incorporar energías renovables no convencionales (ERNC) al sector eléctrico.
- Otra ventaja es que permite estimar de manera directa las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones esperadas de políticas de eficiencia energética y de promoción de ERNC.

Desarrollar en detalle la proyección por separado del consumo eléctrico del SIC y del SING. Sobre la base de los antecedentes disponibles se realizó un primer ejercicio separando el consumo del SIC y del SING. Hubo que hacer para ello diversos supuestos



que es necesario mejorar. Por ejemplo, el consumo eléctrico esperado de cada sector por sistema. Se debe analizar en mayor detalle el consumo de industrias y minas varias, CPR y el sector cobre. Lo mismo respecto de los supuestos relativos a la forma de evolución del factor de carga para cada sistema. Se asumió saturación para cada uno en base a experiencia, pero se requiere realizar este análisis con mayor detención.

Para un análisis regional se sugiere combinar lo realizado con otros esfuerzos, por ejemplo el model DARTE. Un enfoque basado en redes parece atractivo para realizar este tipo de análisis. Utiliza como insumo las proyecciones de nivel nacional de consumos de energía final.

Integrar en una etapa posterior, o en paralelo al desarrollo del LEAP, modelación de equilibrio general de la economía. Este debe ser un modelo dinámico recursivo, diferente al LEAP y no integrado al mismo, al menos en una primera etapa. El plan de obras que se proponga, el impacto de las políticas de eficiencia energética e incorporación de ERNC y las tarifas de distribución que se logren del proceso de licitación de las mismas determinarán, en conjunto con la evolución esperada de los precios de los combustibles, diversos impactos en el desarrollo de los sectores económicos. Estos deben determinarse utilizando un modelo de equilibrio general que a su vez incorpore los shocks esperados para la economía en cuanto a precios de sus exportaciones e importaciones en el periodo de análisis. Con ello se puede hacer un análisis de la compatibilidad entre los supuestos realizados para el sector energético para el LEAP (por ejemplo tasas de crecimiento) y los que se obtienen del modelo de equilibrio para la economía.

REFERENCIAS

- [1] Anderberg, S., "Surprise-Rich Scenarios for Global Population, Energy and Agriculture 1975-2075": in Toth F. L., E. Hizsnyik and W. Clark, 1989, Scenarios of Socioeconomic Development for Studies of Global environmental Change: A Critical Review. IIASA RR-89-004. Laxenburg, Austria.
- [2] Häfele W. (program leader) Energy in a Finite World: Path's to a Sustainable Future Vol.1. A Joint Study of the International Institute of Applied System Analysis and the World Energy Council, Ballinger, Cambridge, USA
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Chapter 19: Energy supply mitigation options". In: Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate change: Scientific - Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the second assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Watson, R. T., M. C. Zinyowera, and R. H. Moss, (eds.)), Cambridge University Press, Cambridge and New York, UK.
- [4] Instituto Nacional de Estadísticas, "Sector Eléctrico, Informe Anual 2006". pp 48-49. Julio 2007.
- [5] Joost Siteur, RWEDP. The Long-range Energy Alternatives Planning model (LEAP) and Wood Energy Planning Overview and Exercises.
- [6] Long-range Energy Alternatives Planning System . User Guide for LEAP 2005. <http://forums.seib.org/leap>.
- [7] Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP). Global long-term energy scenarios: lessons learnt. Report No. 16/13. March 2007.
- [8] McCarthy, Yang, Ogden "Assessing Strategies for Fuel and Electricity Production in a California Hydrogen Economy". 2006.
- [9] Ygdrassil, A., M. Gelobter, P. Holnicki, S. Anderberg, C. Schlenzig, "A Critical Review of Population/Energy Projections for the Study of Long-term, Large-scale Interactions between Development and Environment": in Toth F. L., E. Hizsnyik and W. Clark 1989, Scenarios of Socioeconomic Development for Studies of Global environmental Change: A Critical Review. IIASA RR-89-004. Laxenburg, Austria.
- [10] Helena Božić. "Energy System Planning Analysis Using the Integrated Energy and Macroeconomy Model", Institute Hrvoje Požar, Zagreb, Croatia, 2007



[11] Colección de manuales de informática N° 18/S. Modelo para el Análisis de la Demanda de Energía. Organismo Internacional de Energía Atómica, VIENA, 2007

[12] Ismael Concha. "Fortalecimiento de capacidades para el Desarrollo de Sistemas Energéticos Sostenibles". 19-21 de Marzo 2007, Quito, Ecuador. Organismo Internacional de Energía Atómica.

[13] S. Kononov, I. Concha. "Overview of the MAED Model". Planning and Economic Studies Section, IAEA. 12-16 November 2001

[14] Fei TENG. "Energy Models in China". Global Climate Change Institute, Tsinghua University.

[15] Charles Heaps. "Mitigation Methods and Tools in the Energy Sector". United Nation Framework Convention On Climate Change.

[16] Comisión Nacional de Energía de Chile. Balances Energéticos. www.cne.cl

[17] Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. www.ich.cl

[18] Baldur Eliasson. "The China Technology Program". CETP/ETSAP Sminar, CHCRC, October 16, 2000

[19] Laitner, J.A., S.J. DeCanio, J.G. Koomey y A.H. Sanstad. "Room for Improvement: Increasing the Value of Energy Modeling for Policy Analysis". Utilities Policy 11(2): 87-94. 2003.

[20] Fei Teng, Alun Gu, Maosheng Duan, "Energy Models in China A Literature Survey". Global Climate Change Institute, Tsinghua University, 2007.

COPERT IV, 2006. "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2006", Group 7 Road transport.

ANEXO

ANEXO 1: MODELO LEAP

El Leap es una herramienta es una de las más utilizadas en el mundo con cientos de usuarios en más de 140 países y ha servido como medio de comunicación con la IPCC. Primero se presenta una breve descripción del modelo y luego se muestran resultados preliminares asociados a la inclusión de la demanda final de energía para Chile en el año 2005.

Descripción del Modelo Long range Energy Alternatives Planning System (LEAP)

LEAP es un modelo basado en la construcción de escenarios. Esta se realiza de manera tal que los escenarios facilitan la realización de cálculos de ofertas y demandas energéticas, y la evaluación de alternativas tecnológicas y de política. El usuario define variables clave (como kilómetros recorridos por parte de vehículos y rendimientos de combustible) a partir de los cuales el LEAP construye escenarios de demanda. Un conjunto de “transformaciones” caracterizan los procesos de conversión y se relacionan a la demanda para entregar resultados en términos de emisiones y consumo de recursos. Opciones tecnológicas y de política pueden ser estudiadas en la medida que alteren variables claves, escenarios de demanda o transformaciones.

LEAP puede utilizarse para proyectar la situación de oferta y demanda energética de manera de entrever pautas futuras, identificar problemas potenciales, y evaluar los posibles impactos de políticas energéticas. LEAP puede ayudar a examinar una amplia gama de proyectos, programas, tecnologías y otras iniciativas energéticas, y a encontrar estrategias que permitan resolver problemas ambientales y energéticos

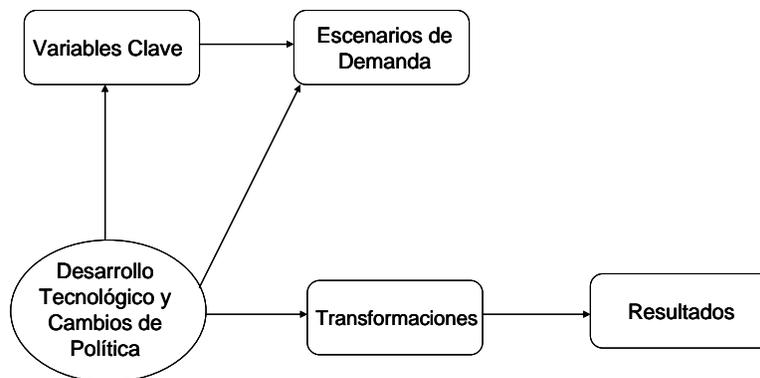
A diferencia de los modelos macroeconómicos, LEAP no intenta calcular el impacto de las políticas energéticas sobre el desempleo o el producto nacional. Sin embargo, esos modelos se pueden correr en forma conjunta con este programa. LEAP tampoco genera en forma automática escenarios de óptimos o de equilibrio de mercado, aunque se puede usar para identificar los escenarios de menor costo.

El concepto de análisis de escenarios constituye el núcleo de LEAP. Los escenarios son proyecciones sistemáticas de la probable evolución futura de sistemas energéticos bajo un contexto socioeconómico particular y bajo un conjunto determinado de condiciones de política. En LEAP los escenarios se pueden construir y luego comparar, para evaluar sus requerimientos energéticos, costos y beneficios sociales e impactos ambientales. Todos los escenarios comienzan a partir de un año base común, para el cual se establecen los datos de Año Base. Los escenarios de LEAP abarcan factores que pueden cambiar en el tiempo incluyendo aquellos que varían por intervenciones de políticas particulares.

Algunas de las importantes ventajas de LEAP son su flexibilidad y facilidad de uso, que permiten, al momento de tomar decisiones, pasar rápidamente del plano de las ideas al de análisis de políticas sin tener que recurrir a modelos más complejos. Sin embargo, cuenta con las debilidades típicas de modelos de “bottom-up” al no considerar comportamiento óptimo de los sistemas o agentes económicos.

La figura siguiente muestra el marco general del modelo.

Figura A1. Marco General del Modelo LEAP



Fuente: McCarthy et al (2006).

La determinación de la demanda es crucial en el modelo. En efecto, tras especificar la demanda los centros de transformación estiman la oferta necesaria para abastecerla (dado el parque eléctrico y combustibles disponibles). También es posible analizar el desabastecimiento eléctrico. Para estimar la demanda el LEAP considera distintas alternativas:

1. Análisis de Energía Final: $e = a \cdot i$

Donde e =demanda de energía, a =nivel de actividad, i =intensidad de energía final (consumo de energía por unidad de actividad)

Por ejemplo, la demanda de energía en la industria del cemento puede proyectarse en base a la producción de cemento y energía por unidad de cemento que se utiliza. Éstas pueden variar en el futuro.

2. Análisis de Energía útil: $e = a \cdot \frac{\mu}{\eta}$

Donde μ =intensidad de energía útil, η =eficiencia, a =nivel de actividad.

Por ejemplo, la demanda energética de edificios residenciales va a cambiar en el futuro ya que (1) se construyen más edificios (a aumenta) y (2) porque el crecimiento económico hace que aumenten requerimientos de calefacción y refrigeración (u aumenta). Adicionalmente, puede presentarse cambio tecnológico que reduzca u .

3. Análisis de Stock: $e = s*d$

Donde s =stock, d = intensidad del artefacto (uso de energía por artefacto).

El stock se modela basándose en artefactos actuales existentes, las ventas de los artefactos nuevos y esperanza de vida de artefactos.

Por ejemplo, se puede evaluar qué tan rápido un estándar de eficiencia energética en refrigeradores puede traducirse en ahorros de energías basados en la penetración de los nuevos artefactos y en la salida gradual del stock existente.

4. Análisis de Transporte ($e=n*m/fe$)

Donde n = número de vehículos, m =millas recorridas anualmente por vehículo, fe =rendimiento (millas por litro).

Por ejemplo, puede examinarse un cambio en una norma de emisión o un mejor rendimiento de los vehículos.

En un análisis de transformación, se simula todo el trayecto de la conversión y transporte de formas de energía desde el punto de extracción de los recursos primarios y las fuentes importadas hasta el punto final de consumo. Como con los análisis de demanda, se pueden usar escenarios alternativos para representar diferentes configuraciones de transformaciones futuras que reflejen alternativas de políticas y tecnología. Es posible considerar o no la transformación de combustibles primarios a secundarios.

En particular, el módulo de transformación incluye la transmisión y generación eléctrica. La transmisión típicamente se modela a partir de las pérdidas de transmisión. Para la generación hay distintas alternativas de criterios de despacho de las tecnologías. Por ejemplo, es posible asignar generación por promedios históricos asociados a centrales hidroeléctricas y a carbón, o bien hacerlas entrar por orden de mérito o costo de operación unitario.

En cada uno de los procesos tanto de oferta como demanda es posible asignar factores de emisión tanto para contaminantes globales como locales. Por ejemplo, la demanda de un sector industrial puede asignar un factor de emisión por tonelada carbón que se consume para un cierto proceso. El programa viene con factores disponibles de IPCC pero también



está abierto a modificaciones. Las emisiones asociadas al consumo eléctrico se contabilizan en el módulo de transformación y dependen de la matriz energética.

LEAP también puede utilizarse para realizar análisis integrados sociales y de costo-beneficio en los escenarios que se crean. Los costos de cada parte del sistema se pueden incluir en el modelo: Costo de capital, operación y mantención, uso de tecnologías en los sistemas de demanda y transformación, costos de extracción de recursos primarios y de la importación de fuentes, y los beneficios de la exportación de fuentes. Además, se puede también ampliar el alcance de los cálculos al asignar costos a las emisiones de contaminantes.

ANEXO 2: MODELO MAED

En esta sección, y a modo de ejemplo, se presenta en detalle el modelo de proyección de demanda MAED. La importancia de usar el MAED consiste en comprender un modelo diseñado particularmente para la labor de estimar consumos energéticos de largo plazo, existe abundante experiencia respecto de su aplicación, y utiliza los enfoques usuales de estimación.

El modelo Model for Analysis of the Energy Demand (MAED) fue desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Atómica y es un modelo de simulación diseñado para evaluar la demanda de energía de un país o una región en el mediano y largo plazo. Permite determinar el efecto de cambios estructurales sobre la demanda de energía. Para ello, realiza un análisis detallado de los sistemas sociales, económicos y tecnológicos. También permite observar la evolución de los mercados potenciales para cada forma de energía final: Electricidad, carbón, petróleo, gas y solar.

1. Antecedentes Generales.

En el modelo MAED la naturaleza y el nivel de la demanda de bienes y servicios son una función de varios factores determinantes, en los que se incluyen el crecimiento de la población, el número de habitantes por vivienda, el número de equipos electrodomésticos usados en la hogares, la movilidad de la población y las preferencias de modos de transporte, las prioridades nacionales para el desarrollo de ciertas industrias o sectores económicos, la evolución de la eficiencia de ciertos tipos de equipamiento, la penetración de nuevas tecnologías o formas de energía en el mercado, etc. Las tendencias futuras que se esperan para estos factores determinantes, que en su conjunto constituyen los “escenarios”, se introducen de manera exógena.

La demanda total de energía para cada categoría de uso final se agrega en cuatro sectores principales “consumidores de energía”: Industria (que incluye Agricultura, Construcción, Minería y Manufacturero), Transporte, Servicios y Residencial.

El punto de partida para usar el modelo MAED es la construcción del patrón de consumo de energía del año base dentro del modelo. Esto requiere la recopilación y conciliación de los datos necesarios de las diferentes fuentes, deducir y calcular varios parámetros de entrada y ajustarlos para reproducir el balance energético en el año base. Este proceso ayuda a ajustar el modelo a la situación específica del país.

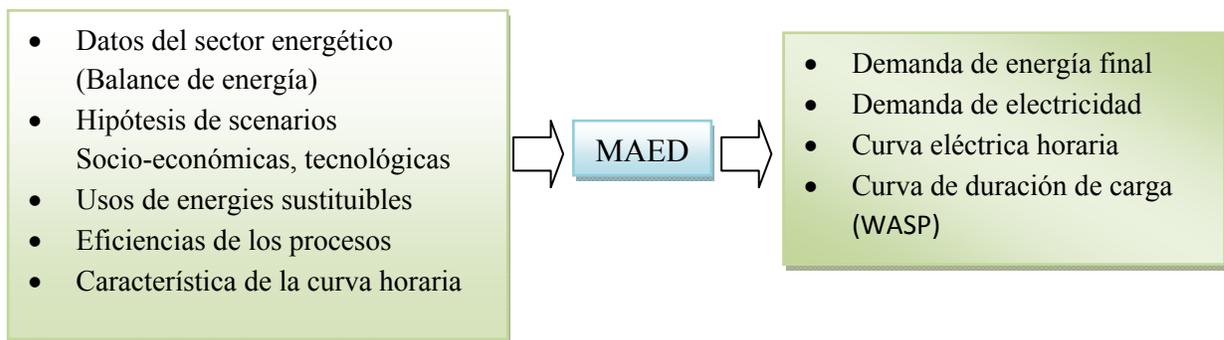
El paso siguiente es desarrollar los escenarios específicos para la situación y objetivos futuros del país. Los escenarios pueden ser subdivididos en dos subescenarios:

- Uno relativo al sistema socio-económico describiendo las características fundamentales de la evolución económica y social del país.
- el segundo relativo a los factores tecnológicos que afectan el cálculo de la demanda, por ejemplo, la eficiencia y el potencial de penetración en el mercado de cada forma de energía disponible.

La demanda de combustibles fósiles no se separa en términos de carbón, gas o petróleo, debido a que este suministro de energía depende principalmente de las posibilidades tecnológicas del suministro y los precios relativos de estos combustibles, aspectos que están fuera del alcance del análisis del modelo.

Se puede esquematizar de manera sencilla el MAED de la siguiente forma:

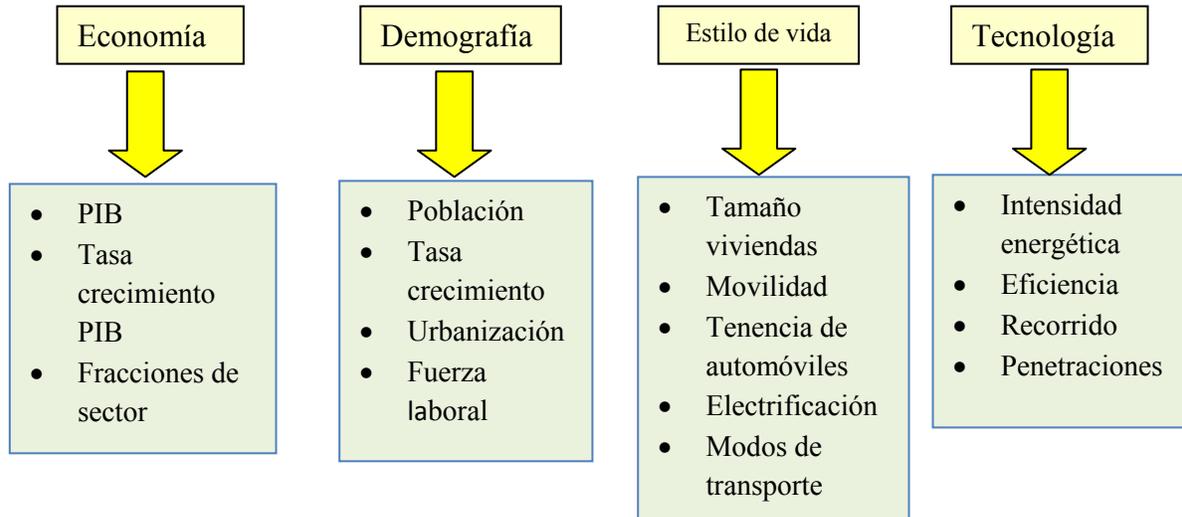
Cuadro A1. Organización general MAED



Fuente: Elaboración Propia

Un esquema de los datos requeridos se muestra a continuación:

Cuadro A2. Diagrama general datos MAED



Fuente: Elaboración Propia

2. Organización del Modelo MAED

El programa MAED se encuentra en dos archivos Excel: MAED_D y MAED_EL. El archivo MAED_D se denomina Módulo 1 (Cálculo de demanda de energía) y contiene varias hojas de cálculo dedicada a representar los diferentes sectores, subsectores y actividades de uso final incluidas en el modelo. En el Módulo 1 se procesa la información que describe el escenario de desarrollo económico, tecnológico y social y calcula la demanda de energía total para los años deseados. El archivo MAED_EL se denomina Módulo 2 (Demanda horaria de potencia eléctrica). Este archivo contiene varias hojas que describen la demanda anual de electricidad en términos de demanda semanal y horaria. El Módulo 2 usa la demanda total anual de electricidad de cada sector (calculada en Módulo 1) para determinar la demanda total de electricidad para cada hora del año.

En general los datos macroeconómicos y de demografía que utiliza el MAED_D se resumen en el siguiente cuadro. Los datos de cada sector en específico se explican más adelante

Cuadro A3. Requerimiento general datos

Datos	Módulo 1 (MAED_D)
PIB total	X
PIB desagregado por sector económico	X
Población	X
Población desagregada en urbana y rural	X

Fuente: Elaboración Propia

3. Análisis de Demanda de Energía (Módulo 1)

El módulo 1 es un modelo de simulación diseñado para la evaluación de la demanda de energía de un país o región a mediano y largo plazo. Tiene un enfoque de planificador y los escenarios se hacen sobre supuestos acerca de la evolución posible del patrón de desarrollo social, económico y tecnológico de un país que se puede anticipar a partir de las tendencias actuales y los objetivos gubernamentales.

El modelo MAED_D ha sido diseñado para reflejar:

- Los cambios estructurales en la demanda de energía de un país en el mediano y largo plazo.
- la evolución de los mercados potenciales de cada forma de energía final: electricidad, combustibles fósiles.

En el modelo la sustitución entre formas de energías disponibles no se calcula automáticamente a partir de la evolución del precio para cada forma de energía y sus correspondientes coeficientes de elasticidad, sino de un análisis hecho durante la formulación de los posibles escenarios de desarrollo.

El MAED_D calcula la demanda de energía total para cada categoría de uso final, agregando los sectores económicos dentro de cuatro sectores “consumidores de energía” fundamentales: Industria (que incluye Agricultura, Construcción, Minería y Manufacturero), Transporte, Residencial y Servicio.

Algunos datos generales del Módulo 1 hacen referencia a la demografía y el PIB

Cuadro A4. Demografía

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Población	[millón]	19.150	21.666	24.275	26.934	29.591	32.194
Tasa de crec. Pob.	[%p.a.]	na	2.500	2.300	2.100	1.900	1.700
Pob. Urbana	[%]	41.500	42.000	43.000	44.000	45.000	45.000
habitantes/casa	[cap]	6.000	5.900	5.700	5.400	5.000	4.500
Viviendas	[millón]	1.325	1.542	1.831	2.195	2.663	3.219
Pob. Rural	[%]	58.500	58.000	57.000	56.000	55.000	55.000
habitantes/casa	[cap]	7.000	6.800	6.600	6.300	5.900	5.400
Viviendas	[millón]	1.600	1.848	2.097	2.394	2.759	3.279
Fuerza laboral pot.	[%]	49.000	49.200	49.400	49.550	49.650	49.700
Fuerza laboral trab.	[%]	40.000	42.000	45.000	49.000	54.000	60.000
Fuerza laboral activa	[millón]	3.753	4.477	5.396	6.539	7.934	9.600
Porc. Pob. en grandes ciudades	[%]	22.000	23.000	24.000	25.000	26.000	27.000
Pob. en grandes ciudades	[millón]	4.213	4.983	5.826	6.733	7.694	8.692

Fuente: MAED_D

Cuadro A5. Formación del PIB

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020
PIB*	[mil mill US\$]	33.550	42.819	54.131	67.780	84.063
Tasa de crec. PIB	[%]	na	5.000	4.800	4.600	4.400
PIB/cap	US\$	1752.0	1976.3	2229.9	2516.6	2840.8
Agricultura	[%]	24.500	23.500	21.500	19.400	17.400
Construcción	[%]	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
Minería	[%]	5.500	5.300	5.100	4.800	4.300
Manufactura	[%]	13.000	14.000	15.200	16.100	16.800

Servicios	[%]	49.000	49.000	50.000	51.800	54.200
Energía	[%]	5.700	5.900	5.900	5.600	5.000

Fuente: MAED_D

Cuadro A6. Distribución PIB por Subsectores

Distribución del PIB por subsectores de la Agricultura

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Cultivos	[%]	55.000	53.000	50.500	48.000	46.000	44.000
Ganadería	[%]	25.000	26.500	28.000	29.500	30.500	32.000
Silvicultura	[%]	15.500	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Pesca	[%]	4.500	5.500	6.500	7.500	8.500	9.000

Distribución del PIB por subsectores de la Construcción

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Edificaciones	[%]	20.000	21.000	22.000	23.000	24.000	25.000
Infraestructura	[%]	80.000	79.000	78.000	77.000	76.000	75.000

Distribución del PIB por subsectores de la Minería

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Metales	[%]	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
No metales	[%]	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Otros	[%]	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000

Distribución del PIB por subsectores de la Manufactura

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Materiales Básicos	[%]	25.000	24.000	23.000	22.000	21.000	20.000
Maquinaria y equipo	[%]	10.000	13.000	16.000	19.000	21.000	23.000
No duraderos	[%]	60.000	58.000	56.000	54.000	53.000	52.000
Misceláneas	[%]	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000

Distribución del PIB por subsectores de la Servicios

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Comercio y Turismo	[%]	13.000	15.000	16.500	18.000	19.000	19.500
Administración Pública	[%]	32.500	33.000	33.500	34.000	34.500	35.000
Financias y Negocios	[%]	6.000	6.500	7.000	7.500	8.100	9.000
Serv. Pers.y otros	[%]	48.500	45.500	43.000	40.500	38.400	36.500

Fuente: MAED_D

- **Sector Industria**

En este sector agregado se incluyen los siguientes sectores económicos: Agricultura, Construcción, Minería y las Industrias Manufactureras. Cada sector principal, puede ser subdividido en un máximo de diez subsectores definidos por el usuario.

La demanda de energía de cada subsector económico es definida por el nivel de actividad económica del subsector evaluado en término de su valor agregado y la intensidad energética de cada forma de energía.

Para cada sector la demanda de energía se calcula por separado en tres categorías de uso final: electricidad para usos específicos (alumbrado, motores, electrólisis, etc.); usos térmicos (calefacción, calentamiento de agua, generación de vapor, hornos y calor directo) y combustibles de motor.

Este sector requiere de datos como: PIB sectorial y participación en el PIB de los subsectores, intensidades energéticas subsectoriales según usos específicos, porcentaje de penetración de portadores energéticos en la energía térmica útil en la industria y eficiencia promedio de los diferentes combustibles.

Los factores determinantes de la demanda de energía en la industria son el nivel de actividad y las intensidades energéticas. Los datos relevantes para el sector industrial se pueden resumir en el siguiente cuadro:

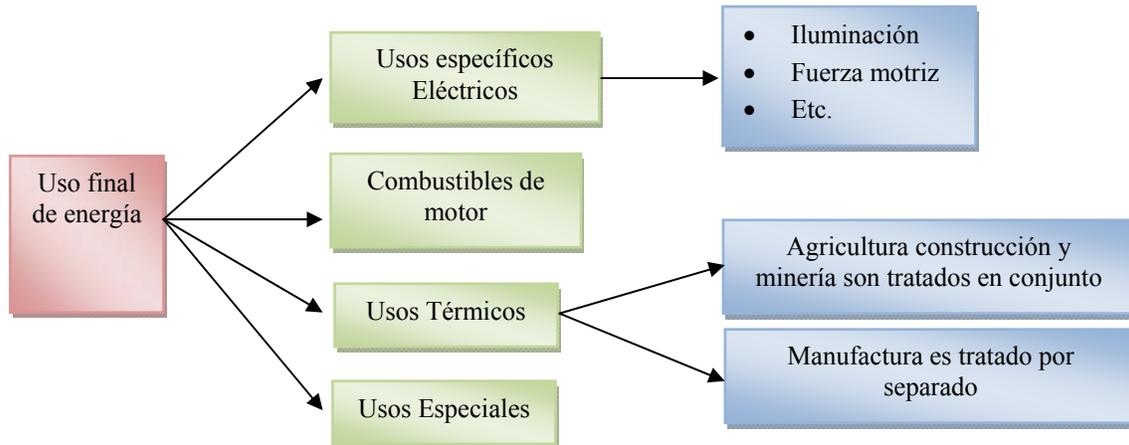
Cuadro A7. Datos sector Industria

Datos	Módulo 1
Intensidades energéticas por uso	X
Categorías de usos energéticos	X
Penetración de formas alternativas en los mercados	X
Eficiencias energéticas de equipos de uso final para cada uso y energético	X
Demanda de materias primas	X

Fuente: Elaboración Propia

Principales categorías de uso de energías en la industria:

Figura A2. Organización General Sector Industria



Fuente: Elaboración Propia

Se debe ingresar también las intensidades energéticas por uso final, esto es: Combustibles de motor, electricidad y térmicos. La siguiente tabla muestra los datos requeridos, en particular para combustibles de motor:

Cuadro A8. Intensidades energéticas de Combustibles motor

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Agricultura	[kWh/US\$]	0.972	0.872	0.798	0.725	0.668	0.611
Cultivos	[kWh/US\$]	1.500	1.400	1.350	1.300	1.250	1.200
Ganadería	[kWh/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Silvicultura	[kWh/US\$]	0.800	0.700	0.600	0.500	0.450	0.400
Pesca	[kWh/US\$]	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	0.250
Construcción	[kWh/US\$]	0.580	0.574	0.568	0.562	0.556	0.550
Edificaciones	[kWh/US\$]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Infraestructura	[kWh/US\$]	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
Minería	[kWh/US\$]	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210
Metales	[kWh/US\$]	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
No metales	[kWh/US\$]	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Otros	[kWh/US\$]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Manufactura	[kWh/US\$]	0.122	0.121	0.120	0.119	0.119	0.118
Materiales Básicos	[kWh/US\$]	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Maquinaria y equipo	[kWh/US\$]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
No duraderos	[kWh/US\$]	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120

Misceláneas	[kWh/US\$]	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
-------------	------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: MAED_D

Con los datos de las tablas anteriores se puede obtener la energía final útil de la industria a través de los diferentes sectores según uso final de la energía, por ejemplo:

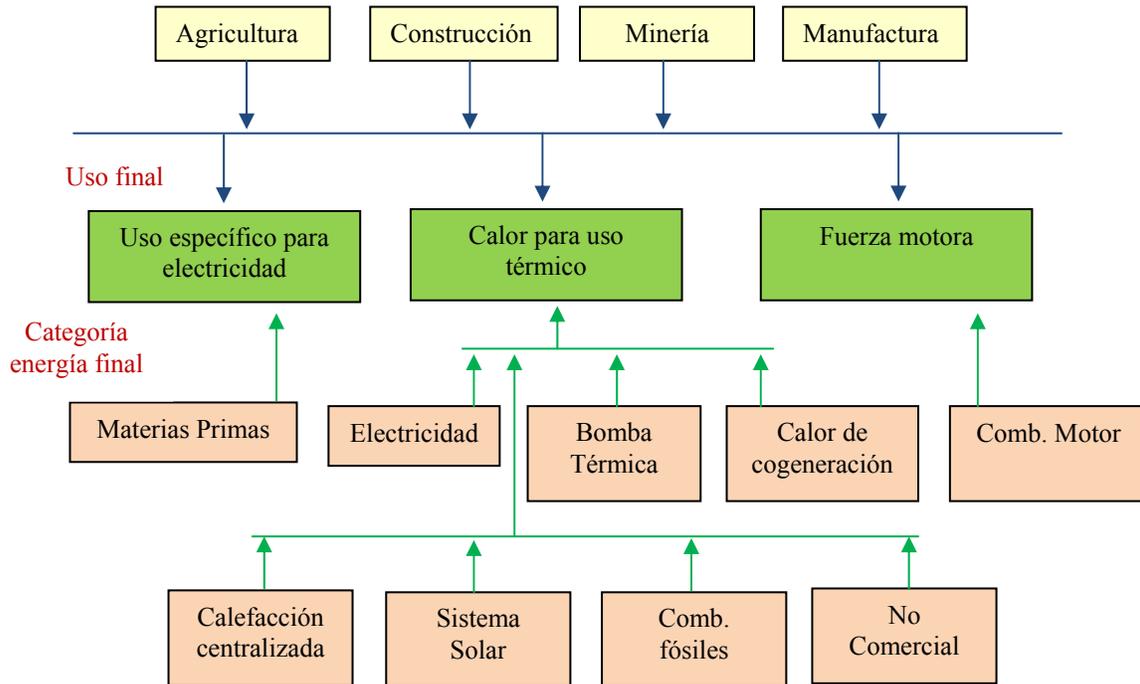
Cuadro A9. Demanda de energía útil para los combustibles motor

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Agricultura	GWa	0.912	1.001	1.060	1.089	1.115	1.115
Cultivos	GWa	0.774	0.852	0.906	0.937	0.960	0.965
Ganadería	GWa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Silvicultura	GWa	0.116	0.121	0.120	0.113	0.113	0.110
Pesca	GWa	0.021	0.028	0.035	0.039	0.043	0.041
Construcción	GWa	0.051	0.065	0.081	0.100	0.123	0.143
Edificaciones	GWa	0.002	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
Infraestructura	GWa	0.049	0.062	0.078	0.096	0.117	0.136
Minería	GWa	0.044	0.054	0.066	0.078	0.087	0.094
Metales	GWa	0.022	0.027	0.033	0.039	0.043	0.047
No metales	GWa	0.017	0.021	0.025	0.030	0.033	0.036
Otros	GWa	0.005	0.006	0.008	0.009	0.010	0.011
Manufactura	GWa	0.061	0.083	0.113	0.149	0.191	0.235
Materiales Básicos	GWa	0.019	0.025	0.032	0.041	0.051	0.060
Maquinaria y equipo	GWa	0.005	0.009	0.015	0.024	0.034	0.046
No duraderos	GWa	0.036	0.048	0.063	0.081	0.103	0.124
Misceláneas	GWa	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.005
Total	GWa	1.068	1.203	1.320	1.415	1.516	1.587

Fuente: MAED_D

Un esquema general para visualizar la contabilidad energética en el sector de la industria se muestra a continuación:

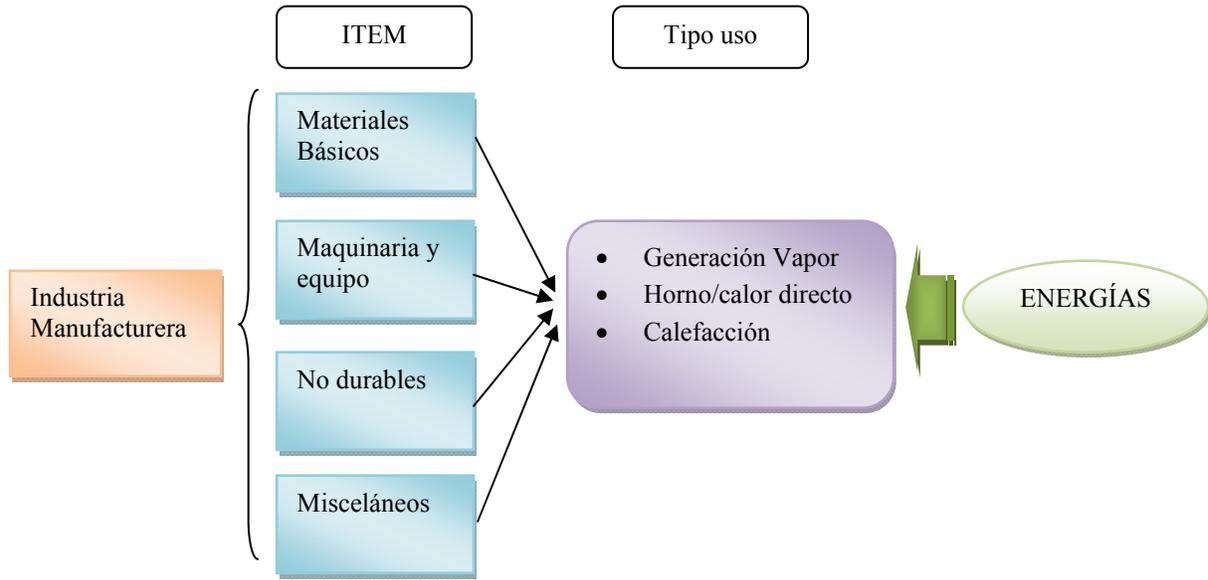
Figura A3. Esquema General Sector Industria



Fuente: MAED_D

Para ejemplificar en más detalle, mostraremos como queda definido el sector Manufacturero.

Figura A4. Esquema Sector Manufactura



Fuente: Elaboración propia

Se tiene entonces la estructura de la demanda de energía térmica de la industria manufacturera como se muestra a continuación:

Cuadro A10. Estructura de la demanda de energía térmica útil en la Manufactura

Materiales Básicos	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Generación de vapor	[%]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Hornos/Calor directo	[%]	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
Calefacción y Cal. Agua	[%]	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000

SHARE

Maquinaria y equipo	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Generación de vapor	[%]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Hornos/Calor directo	[%]	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Calefacción y Cal. Agua	[%]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000

No duraderos	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Generación de vapor	[%]	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Hornos/Calor directo	[%]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000

Calefacción y Cal. Agua	[%]	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
--------------------------------	------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Misceláneas	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Generación de vapor	[%]	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Hornos/Calor directo	[%]	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Calefacción y Cal. Agua	[%]	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000

Fuente: MAED_D

A través de la siguiente forma se obtiene la demanda de energía final para cada tipo de utilización de energía.

$$ED_{util\ final} = ED_{util} * SHARE$$

Para la Industria Manufacturera también se requieren los factores de penetración de los portadores energéticos y sus eficiencias

Cuadro A11. Penetración de los portadores energéticos en la demanda de energía térmica útil en la Manufactura

Portadores energéticos	Unidad	2000	2005	2010	....	2025
Electricidad, gen. vapor	[%]	2.000	2.000	2.000	....	2.000
Electricidad, hornos/calor dir.	[%]	7.000	8.000	9.000	....	14.000
Electricidad, calef./cal. agua	[%]	2.000	3.000	4.000	....	10.000
De los cuales:						
Bombas térmicas, gen. vapor	[%]	0.000	0.000	0.000	....	0.000
Bombas térmicas, calef./cal. agua	[%]	20.000	30.000	40.000	....	80.000
Calefacción centralizada, gen. vapor	[%]	10.000	11.000	12.000	....	16.000
Calefacción centralizada, Calef./Cal. agua	[%]	12.000	13.000	14.000	....	17.000
Cogeneración, gen. vapor	[%]	14.000	15.000	16.000	....	19.000
Cogeneración, Calef./Cal. agua	[%]	9.000	10.000	11.000	....	14.000
Solar, gen. vapor	[%]	0.000	0.000	0.000	....	0.000
Solar, Calef./Cal. agua	[%]	1.000	2.000	3.000	....	6.000
Comb. trad., generación de vapor	[%]	5.000	4.500	4.000	....	2.000
Comb. trad., hornos/calor directo	[%]	3.000	2.600	2.200	....	1.000
Comb. trad., calef./cal. agua	[%]	5.000	4.500	4.000	....	2.000
Biom. mod., generación de vapor	[%]	2.000	3.000	4.000	....	10.000
Bio. Mod., hornos/calor directo	[%]	2.000	3.000	4.000	....	10.000
Bio. Mod., calef./cal. agua	[%]	2.000	3.000	4.000	....	10.000

Fuente: MAED_D

Cuadro A12. Eficiencias

Factores	Unidad	2000	2005	2010	...	2025
COP de las bombas térmicas	[razón]	2.500	3.000	3.500	...	5.000
Participación de la energía solar	[%]	40.000	40.000	40.000	...	40.000
Eficiencia de la cogeneración	[%]	70.000	72.000	74.000	...	80.000
Relación calor/electricidad	[razón]	3.000	3.000	3.000	...	3.000
Part. de la biomasa en la cogen.	[%]	4.000	6.000	8.000	...	15.000
Efic. comb. fós., gen. vapor	[%]	70.000	71.000	72.000	...	75.000
Efic. comb. fós., hornos/calor dir.	[%]	60.000	61.000	62.000	...	65.000
Efic. comb. fós., calef./cal. agua	[%]	60.000	61.000	62.000	...	65.000
Efic. comb. trad., gen. vapor	[%]	30.000	32.000	34.000	...	40.000
Efic. comb. trad., hornos/calor dir.	[%]	30.000	32.000	34.000	...	40.000
Efic. comb. trad., calef./cal. agua	[%]	25.000	27.000	29.000	...	35.000
Efic. bio. mod., gen. vapor	[%]	40.000	42.000	44.000	...	50.000
Efic. bio. mod., hornos/calor dir.	[%]	40.000	42.000	44.000	...	50.000
Efic. bio. mod., calef./cal. agua	[%]	35.000	37.000	39.000	...	45.000
Efic. Comb. fós., promedio	[%]	63.535	64.364	65.154	...	67.792
Eff. Comb. trad., promedio	[%]	29.249	31.257	33.264	...	39.268
Eff. Bio. mod., promedio	[%]	39.407	41.423	43.442	...	49.470

Fuente: MAED_D

La demanda final de energía se calcula en función del ítem (*i*), del tipo de uso (*tu*), del portador energético (*p*) y del año correspondiente (*t*), además se incorpora la eficiencia.

$$ED_{i,tu,p,t} = ED_{tu,p,t} * MP_{i,tu,p,t} * \left(\frac{1}{\text{eficiencia}_{i,tu,p,t}} \right)$$

Finalmente se obtiene:

Cuadro A13. Demanda total de energía final en la Manufactura

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Comb. tradicionales	GWa	0.156	0.153	0.146	0.135	0.117	0.084
Biomásas modernas	GWa	0.062	0.107	0.160	0.262	0.374	0.497
Electricidad	GWa	0.380	0.519	0.711	0.944	1.234	1.492
Calefacción centralizada	GWa	0.064	0.080	0.098	0.119	0.143	0.172
Solar	GWa	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Comb. Fósiles	GWa	1.488	1.711	1.940	2.133	2.250	2.332
Comb. Motor	GWa	0.061	0.083	0.113	0.149	0.191	0.235
Coque	GWa	0.347	0.465	0.679	0.846	0.957	0.968
Materia prima	GWa	0.882	1.159	1.521	1.926	2.376	2.794
Total MAN	GWa	3.440	4.280	5.369	6.516	7.646	8.578

Fuente: MAED_D

Los subsectores Agricultura, Minería y Construcción se tratan de manera conjunta y análoga a la forma descrita en el sector manufactura.

- **Sector Transporte**

La demanda de energía de este sector es calculada directamente en términos de la energía final como una función de la demanda total para el transporte de pasajeros (pasajeros-kilómetros) y de carga (toneladas-kilómetros). Para el transporte de pasajeros, se realiza distinción para el transporte urbano (dentro de la ciudad) y entre ciudades (interurbano).

La demanda total para el Transporte se calcula de forma independiente para carga y pasajeros de acuerdo a factores macroeconómicos y al estilo de vida.

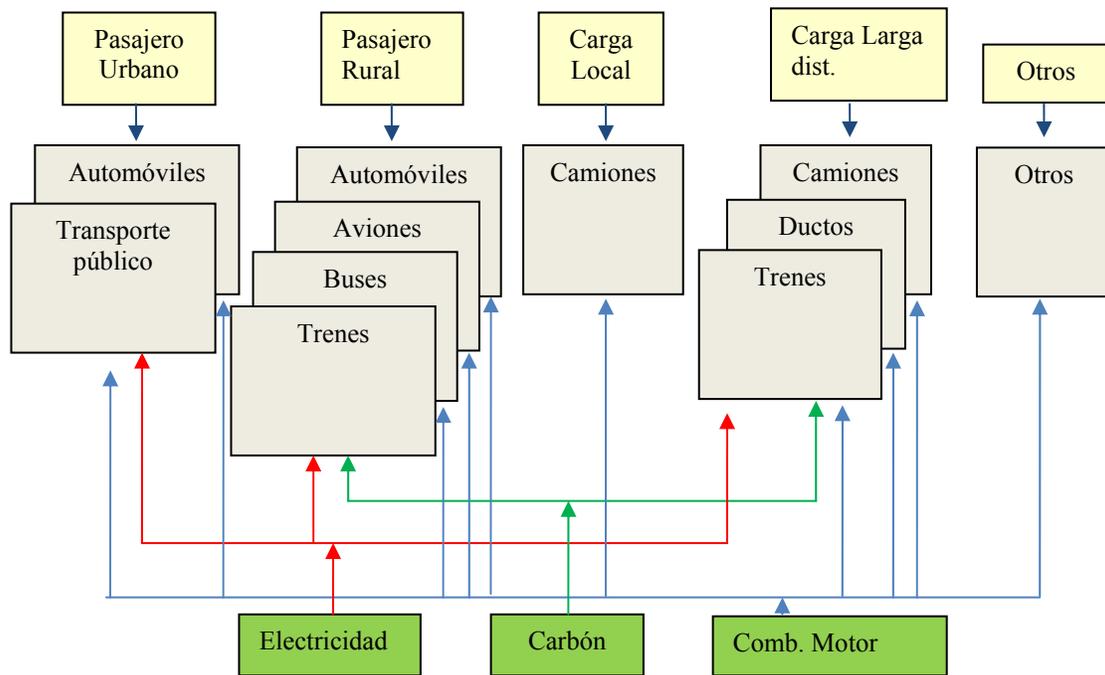
En el caso del transporte de carga, la demanda se calcula como una función de la contribución al PIB (t-km/Unidad Monetaria) de los subsectores de Agricultura, Construcción, Minería, Manufacturero y Servicios y del sector Energía. La demanda para el transporte de pasajeros se determina a partir de la población total, la población que vive en grandes ciudades y la distancia promedio entre ciudades y dentro de las ciudades recorrida por persona.

Los datos requeridos para la especificación del transporte de carga son: Generación carga-kilómetro subsectorial, participación de modos de transporte, intensidades energéticas por tipo de transporte de carga.

Los datos requeridos para la especificación de transporte de pasajeros son: Distancias recorridas en las ciudades y entre las ciudades, Factores de carga, participación según modos de transporte e intensidades energéticas según tipo de transporte.

Los factores de carga por modo de transporte son altamente dependientes de la política de transporte del país y por lo tanto se deben especificar como parámetros en los escenarios.

Figura A5. Organización general Sector Transporte

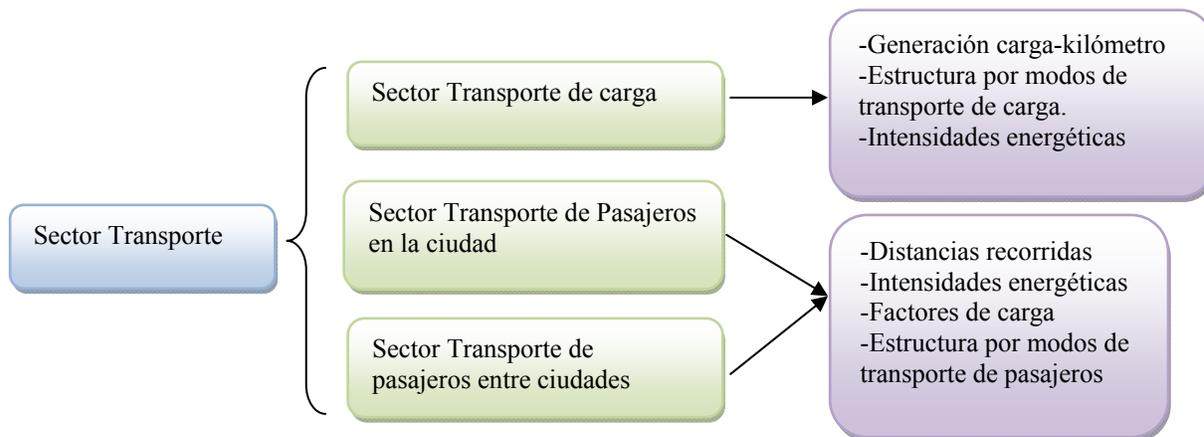


Fuente: Elaboración propia

Requerimientos de datos del Sector Transporte

El sector transporte se trata en el MAED_D diferenciando: transporte de carga, transporte de pasajeros en las ciudades y transporte de pasajeros entre ciudades, como lo muestra la siguiente figura:

Figura A6. Organización general de datos Sector Transporte



Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo en el transporte de carga se debe disponer de:

Cuadro A14. Generación de la carga-kilómetros

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Cultivos	[tkm/US\$]	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816
Ganadería	[tkm/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Silvicultura	[tkm/US\$]	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816
Pesca	[tkm/US\$]	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816
Edificaciones	[tkm/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Infraestructura	[tkm/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Metales	[tkm/US\$]	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
No metales	[tkm/US\$]	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
Otros	[tkm/US\$]	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
Materiales Básicos	[tkm/US\$]	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Maquinaria y equipo	[tkm/US\$]	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
No duraderos	[tkm/US\$]	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
Misceláneas	[tkm/US\$]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Comercio y Turismo	[tkm/US\$]	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Administración	[tkm/US\$]	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

Pública							
Financias y Negocios	[tkm/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Servicios Pers y otros	[tkm/US\$]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Energía	[tkm/US\$]	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Valor base	[10 ⁹ tkm]	43.800	43.800	43.800	43.800	43.800	43.800

Fuente: MAED_D

Y con datos de la estructura del subsector y las intensidades energéticas de la forma que se muestra a continuación:

Cuadro A15. Estructura por modos del transporte de carga

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020
Camiones - locales	[%]	20.000	21.000	22.000	23.000	24.000
Camiones - largas distancias	[%]	25.000	24.000	23.000	22.000	21.000
Tren - Diesel	[%]	30.000	28.000	26.000	24.000	22.000
Tren - electricidad	[%]	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000
Tren - vapor	[%]	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000
Cabotaje	[%]	3.000	3.200	3.400	3.600	3.800
Óleoductos (diesel)	[%]	4.000	4.400	4.800	5.200	5.600
Óleoductos (electricidad)	[%]	3.000	3.400	3.800	4.200	4.600

Fuente: MAED_D

Cuadro A16. Intensidades energéticas del transporte de carga (unidades físicas)

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	...	2025
Camiones - locales	[l/100tkm]	11.500	11.500	11.400	...	11.100
Camiones - larga dist	[l/100tkm]	9.250	9.250	9.200	...	8.900
Tren - Diesel	[l/100tkm]	2.310	2.300	2.290	...	2.260
Tren - electricidad	[kWh/100tkm]	6.500	6.500	6.400	...	6.100
Tren - vapor	[kgce/100tkm]	13.150	13.150	13.150	...	13.150
Cabotaje	[l/100tkm]	2.300	2.300	2.290	...	2.250
Óleoductos (diesel)	[l/100tkm]	0.800	0.800	0.800	...	0.800
Óleoductos (electricidad)	[kWh/100tkm]	6.050	6.050	6.050	...	6.050

Fuente: MAED_D

Se puede obtener de manera directa de los datos anteriores los consumos energéticos del transporte de carga por: modos de transporte y por grupo de combustible. En general la obtención de los consumos se puede obtener con la siguiente fórmula:

$consumo = carga - kilómetro * intensidadenergética * estructura de transporte$

Y se obtienen los consumos finales:

Cuadro A17. Consumo energético en el transporte de carga (por modos)

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Camiones - locales	GWa	1.551	1.748	1.963	2.214	2.504	2.826
Camiones - largas distancias	GWa	1.559	1.607	1.656	1.705	1.760	1.813
Tren - Diesel	GWa	0.467	0.466	0.466	0.466	0.465	0.460
Tren - electricidad	GWa	0.044	0.056	0.070	0.086	0.104	0.124
Tren - vapor	GWa	0.360	0.310	0.251	0.182	0.100	0.000
Cabotaje	GWa	0.047	0.053	0.061	0.070	0.080	0.092
Óleoductos (diesel)	GWa	0.022	0.025	0.030	0.035	0.042	0.049
Óleoductos (electricidad)	GWa	0.012	0.015	0.018	0.022	0.026	0.031
Total	GWa	4.061	4.281	4.516	4.780	5.080	5.395

Fuente: MAED_D

Cuadro A18. Consumo energético en el transporte de carga (grupos de combustibles)

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Electricidad	GWa	0.056	0.071	0.088	0.107	0.130	0.155
Carbón	GWa	0.360	0.310	0.251	0.182	0.100	0.000
Combustibles motor	GWa	3.645	3.900	4.177	4.490	4.851	5.240
Total	GWa	4.061	4.281	4.516	4.780	5.080	5.395

Fuente: MAED_D

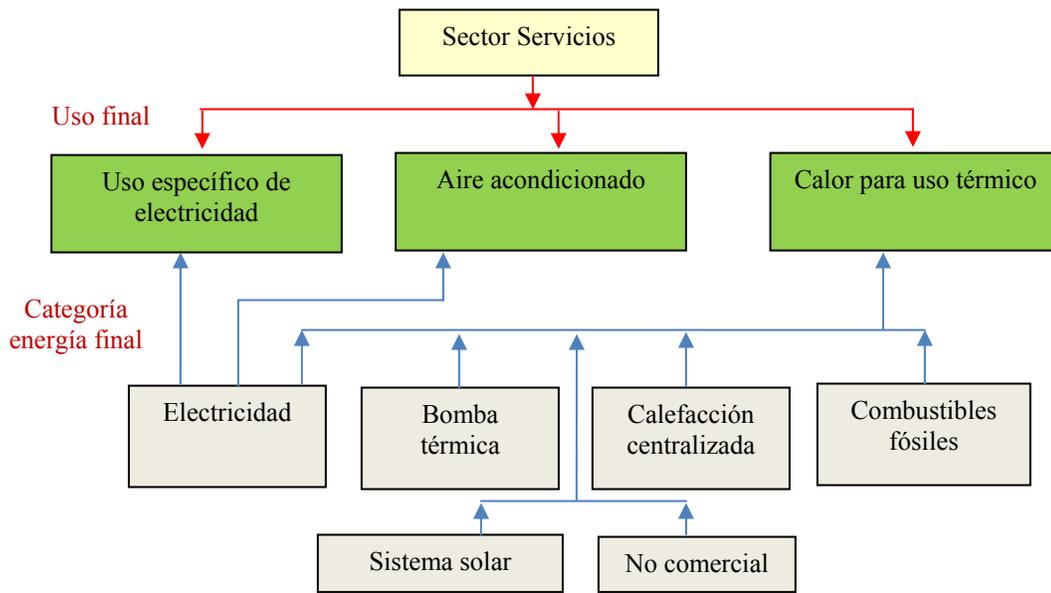
- **Sector Servicios**

Los parámetros del escenario y las ecuaciones que caracterizan el consumo de energía en el sector Servicios están relacionadas con el nivel económico de actividad de este sector (valor agregado subsectorial) y la fuerza laboral del sector.

Las categorías de uso final utilizadas en el sector Servicios son: calefacción, otros usos térmicos (esencialmente calentamiento de agua y cocción), aire acondicionado, usos específicos de la electricidad (fuerza motriz para pequeños motores, computadoras, alumbrado, etc.) y combustible motor.

Los datos necesarios para la descripción del sector servicios son los siguientes: Fuerza laboral en el sector, área de piso por empleado, participación en el sector del aire acondicionado y calefacción, intensidades energéticas de usos finales diferentes a calefacción y aire acondicionado, factor de penetración de diferentes combustibles para diferentes usos térmicos y eficiencias de los diferentes combustibles en diferentes usos térmicos

Figura A7. Organización general Sector Servicios

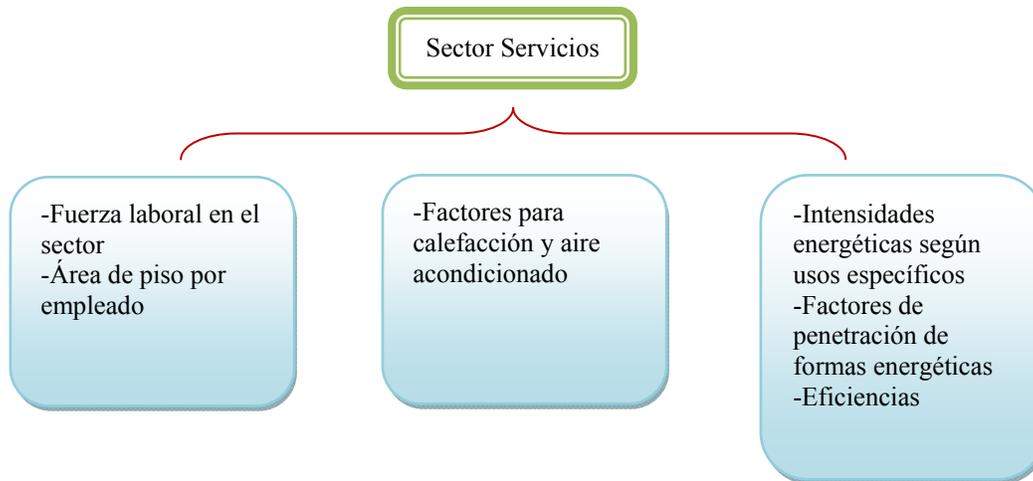


Fuente: Elaboración propia

Requerimientos de datos del Sector Servicios

Esquematisamos los requerimientos de datos específicos del sector servicios de la siguiente forma:

Figura A8. Organización general de Datos Sector Servicios



Fuente: Elaboración propia

Los datos son requeridos por MAED_D de la siguiente forma:

Cuadro A19. Datos básicos para la demanda de energía útil en el sector Servicios

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	...	2025
Fuerza laboral en el sect. Serv.	[%]	45.000	46.000	47.000	...	50.000
Área de piso por empleado	[m ² /cap]	8.000	8.400	8.800	...	10.000
Fuerza laboral en el sect. Serv.	[mill cap]	1.689	2.059	2.536	...	4.800
Área de piso del sect. Serv	[mill m ²]	13.512	17.300	22.320	...	48.001

Fuente: MAED_D

Cuadro A20. Factores para la calefacción y el aire acondicionado

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	...	2025
Por ciento de área que requiere calefacción	[%]	100.000	100.000	100.000	...	100.000
Área que realmente tiene calefacción	[%]	50.000	55.000	60.000	...	75.000
Requerimientos específicos de calefacción	[kWh/m ² /a]	60.000	58.000	56.000	...	50.000
Área de piso con aire acondicionado	[%]	10.000	15.000	20.000	...	40.000
Requer. específicos de aire acondicionado	[kWh/m ² /a]	50.000	50.000	50.000	...	50.000

Fuente: MAED_D

Con los datos anteriores se obtienen la demanda de energía útil, que luego con las eficiencias es corregida a energía final. Luego con las intensidades energéticas por uso final se obtienen las demandas de energía útiles según uso final, las cuales corregidas por eficiencia y los factores de penetración de las distintas formas energéticas, entregan el consumo final de energía. Por ejemplo:

Cuadro A21. Intensidades energéticas de los combustibles motor

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020
Servicios	[kWh/US\$]	0.169	0.175	0.180	0.184	0.187
Comercio y Turismo	[kWh/US\$]	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Administración Pública	[kWh/US\$]	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Financias y Negocios	[kWh/US\$]	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Servicios Personales y otros	[kWh/US\$]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

Fuente: MAED_D

Con estas intensidades y el PIB sectorial se obtiene:

Cuadro A22. Demanda total de energía útil del sector Servicios

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020
Calefacción	GWa	0.046	0.063	0.086	0.116	0.155
Aire acondicionado	GWa	0.008	0.015	0.025	0.041	0.064
Combustibles motor	GWa	0.316	0.419	0.555	0.738	0.975
Usos específicos de electricidad	GWa	2.038	2.600	3.353	4.349	5.644
Otros usos térmicos	GWa	0.231	0.304	0.400	0.530	0.697
Total	GWa	2.639	3.400	4.419	5.775	7.535

Fuente: MAED_D

Se necesitan los factores de penetración y las eficiencias:

Cuadro A23. Penetración de formas energéticas y eficiencias

Penetración de las formas energéticas para la calefacción

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Combustibles tradicionales	[%]	25.000	23.000	21.000	19.000	17.000	15.000
Biomásas modernas	[%]	2.000	3.000	4.000	6.000	8.000	10.000
Electricidad	[%]	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000
(de esto: bomba térmica)	[%]	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	20.000
Calefacción centralizada	[%]	0.000	0.000	5.000	7.000	10.000	12.000
Solar térmica	[%]	0.000	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Combustibles fósiles	[%]	65.00	63.00	55.00	49.00	42.00	36.00

Eficiencias y otros factores de los usos térmicos

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020
Eficiencia de los combustibles tradicionales	[%]	15.000	16.000	17.000	18.000	19.000
Eficiencia de las biomásas modernas	[%]	25.000	26.000	27.000	28.000	29.000
Eficiencia de los combustibles fósiles	[%]	60.000	61.000	62.000	63.000	64.000
COP de las bombas térmicas	[razón]	2.500	2.750	3.000	3.500	4.000
Por ciento de edificios de poca altura	[%]	70.000	65.000	60.000	55.000	50.000
Participación de la solar térmica	[%]	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000

Fuente: MAED_D

Así se obtiene la energía de la forma genérica:

$$E_{final} = E_{útil} * Factor_Penetracion * \left(\frac{1}{eficiencia} \right)$$

Para finalmente obtener:

Cuadro A24: Demanda de energía final para usos térmicos

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Combustibles tradicionales	GWa	0.462	0.527	0.600	0.682	0.762	0.835
Biomasa modernas	GWa	0.022	0.042	0.072	0.138	0.235	0.371
Electricidad	GWa	0.022	0.036	0.057	0.089	0.133	0.195
Calefacción centralizada	GWa	0.000	0.000	0.024	0.045	0.085	0.134
Solar térmica	GWa	0.000	0.001	0.003	0.007	0.012	0.020
Combustibles fósiles	GWa	0.300	0.381	0.439	0.519	0.587	0.663
Total	GWa	0.806	0.987	1.196	1.480	1.814	2.219

Fuente: MAED_D

- **Sector Residencial**

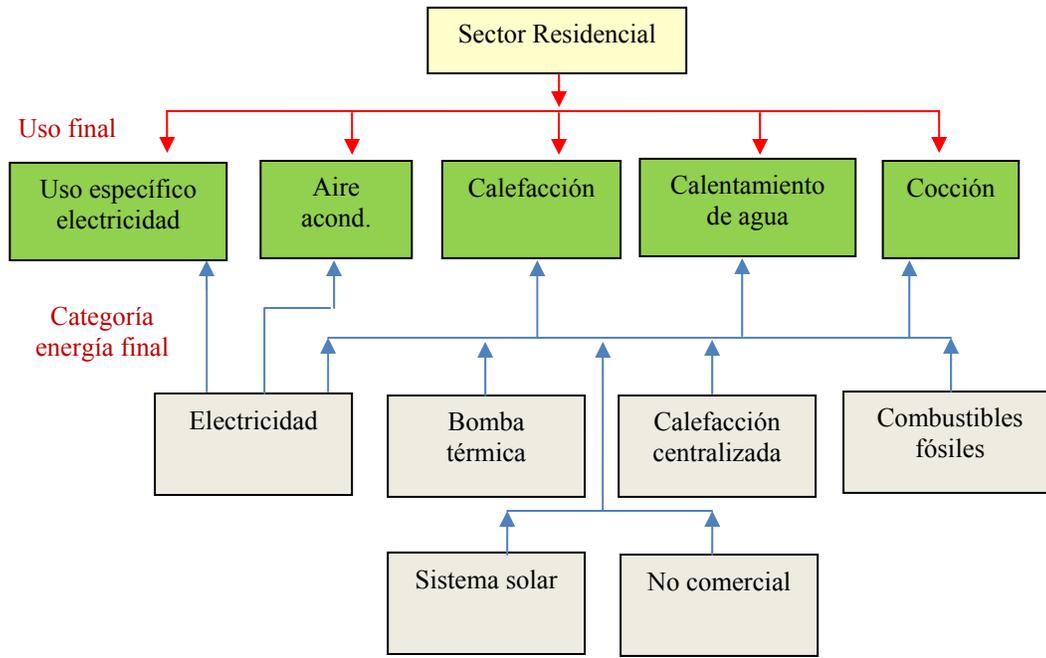
La demanda de energía se calcula de manera similar en los sectores Residencial y Servicios pero los parámetros del escenario y las ecuaciones que caracterizan su consumo de energía no son las mismas: en el sector Residencial el factor determinante es de naturaleza demográfica (población, número de casas, etc.), mientras que el sector Servicios está determinada por el nivel de actividad económica del sector.

Las categorías de uso de energía consideradas en el sector Residencial son: calefacción, calentamiento de agua, aire acondicionado y equipos domésticos secundarios (refrigeradores, luminarias, lavadoras, etc.).

Los cálculos para este sector se realizan teniendo en cuenta las condiciones de vida de la población, es decir, el lugar de residencia (cálculos separados para zonas urbanas y rurales), y el tipo de residencia.

Los datos necesarios para la descripción del sector residencial son los siguientes: porcentaje de viviendas que requieren calefacción, factor de participación de aire acondicionado y calefacción en los subsectores, factores de penetración de los diferentes combustibles para diferentes usos térmicos y eficiencia en los usos térmicos.

Figura A9: Organización General Sector Residencial



Fuente: Elaboración propia

Requerimientos de datos del Sector Residencial

Esquematizamos los requerimientos de datos específicos del sector servicios de la siguiente forma:

Figura A10: Organización General de Datos Sector Residencial



Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo, para el subsector Residencial urbano se necesita:

Cuadro A25: Factores de la vivienda para la calefacción y el aire acondicionado, Residencial Urbano

Ítem	Unidad	2000	2005
Por ciento de: Apartamentos	[%]	30.000	30.000
Por ciento de: Casas	[%]	13.000	14.000
Por ciento de: Viviendas con calefacción	[%]	45.000	43.000
Por ciento de: Viviendas sin calefacción	[%]	8.000	8.000
Por ciento de: Villas	[%]	4.000	5.000
Tamaño de la vivienda--Apartamentos	[m ²]	80.000	80.000
Tamaño de la vivienda--Casas	[m ²]	120.000	120.000
Tamaño de la vivienda--Viviendas con calefacción	[m ²]	60.000	60.000
Tamaño de la vivienda--Viviendas sin calefacción	[m ²]	50.000	50.000
Tamaño de la vivienda--Villas	[m ²]	200.000	200.000
Área con calef.--Apartamentos	[%]	100.000	100.000
Área con calef.--Casas	[%]	80.000	80.000
Área con calef.--Viviendas con calefacción	[%]	40.000	40.000
Área con calef.--Viviendas sin calefacción	[%]	0.000	0.000
Área con calef.--Villas	[%]	80.000	80.000
Pérd. Calor--Apartamentos	[Wh/m ² /°C/h]	4.000	4.000
Pérd. Calor--Casas	[Wh/m ² /°C/h]	4.500	4.500

Ítem	Unidad	2000	2005
Pérd. Calor--Viviendas con calefacción	[Wh/m ² /°C/h]	3.500	3.500
Pérd. Calor--Viviendas sin calefacción	[Wh/m ² /°C/h]	3.500	3.500
Pérd. Calor--Villas	[Wh/m ² /°C/h]	4.500	4.500
Viv. con aire acond.--Apartamentos	[%]	5.000	7.000
Viv. con aire acond.--Casas	[%]	7.000	8.000
Viv. con aire acond.--Viviendas con calefacción	[%]	5.000	5.500
Viv. con aire acond.--Viviendas sin calefacción	[%]	0.000	0.000
Viv. con aire acond.--Villas	[%]	100.000	100.000
Req. esp. AC--Apartamentos	[kWh/viv/año]	2500.000	2500.000
Req. esp. AC--Casas	[kWh/viv/año]	3500.000	3500.000
Req. esp. AC--Viviendas con calefacción	[kWh/viv/año]	2000.000	2000.000
Req. esp. AC--Viviendas sin calefacción	[kWh/viv/año]	0.000	0.000
Req. esp. AC--Villas	[kWh/viv/año]	6000.000	6000.000

Fuente: MAED_D

Con lo anterior y el total de viviendas se obtiene la energía final útil, esto es:

Cuadro A26: Cálculo de la demanda de energía útil, sector Residencial Urbano

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015
Calefacción	GWa	1.191	1.449	1.821	2.302
Calentamiento de agua	GWa	0.127	0.187	0.268	0.372
Cocción	GWa	0.141	0.161	0.188	0.213
Aire acondicionado	GWa	0.054	0.077	0.110	0.155
Electricidad para equipamiento	GWa	0.116	0.174	0.258	0.368
Combustibles fósiles para la iluminación	GWa	0.002	0.002	0.001	0.001
Total	GWa	1.630	2.050	2.646	3.411

Fuente: MAED_D

Junto a lo anterior se necesitan los distintos factores de penetración y de eficiencia, como por ejemplo, los de calefacción:

Cuadro A27: Penetración de formas energéticas y eficiencias

Penetración de las formas energéticas para la calefacción, Residencial Urbano

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015
Combustibles tradicionales	[%]	5.000	4.500	4.000	3.000
Biomasa modernas	[%]	2.000	2.500	3.000	3.500
Electricidad	[%]	5.000	6.000	7.000	8.000
(de esto: bomba térmica)	[%]	1.000	2.000	3.000	4.000
Calefacción centralizada	[%]	0.000	0.000	0.000	3.000
Solar térmica	[%]	0.000	0.000	0.000	1.000
Combustibles fósiles	[%]	88.0	87.0	86.0	81.5

Eficiencias y otros factores para calefacción, Residencial Urbano

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015
Eficiencia de los combustibles tradicionales	[%]	15.000	16.000	17.000	18.000
Eficiencia de las biomasa modernas	[%]	25.000	26.000	27.000	28.000
Eficiencia de los combustibles fósiles	[%]	60.000	61.000	62.000	63.000
COP de las bombas térmicas	[razón]	2.500	2.750	3.000	3.500
Participación de la solar térmica	[%]	40.000	40.000	40.000	40.000

Fuente: MAED_D

Y así se obtiene:

Cuadro A28: Residencial Urbano, calefacción

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Combustibles tradicionales	GWa	0.397	0.408	0.428	0.384	0.313	0.182
Biomasa modernas	GWa	0.095	0.139	0.202	0.288	0.410	0.606
Electricidad	GWa	0.059	0.086	0.125	0.179	0.257	0.347
Calefacción centralizada	GWa	0.000	0.000	0.000	0.069	0.149	0.291
Solar térmica	GWa	0.000	0.000	0.000	0.009	0.024	0.058
Combustibles fósiles	GWa	1.746	2.067	2.525	3.000	3.676	4.163
Total	GWa	2.298	2.699	3.281	3.928	4.829	5.647

Fuente: MAED_D

Con todos los factores de penetración y de eficiencia se obtiene el cuadro resumen final, que corrige la energía útil por penetración y eficiencia, esto es:

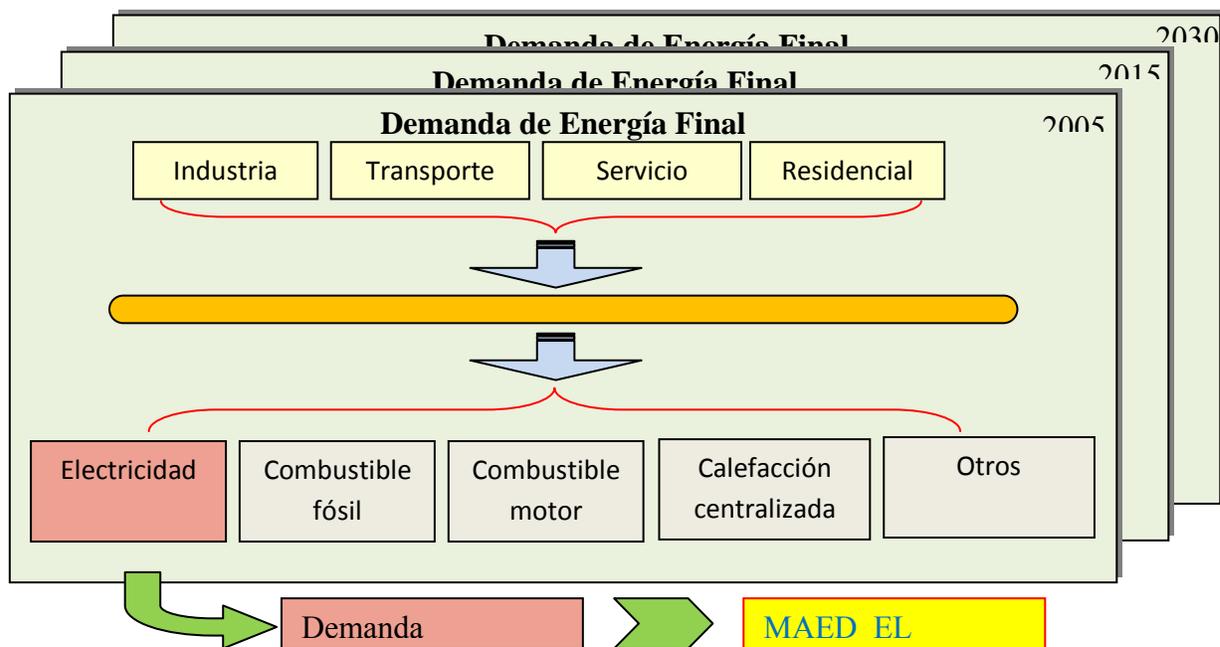
Cuadro A29: Demanda total de energía final en el sector Residencial Urbano

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Combustibles tradicionales	GWa	0.556	0.576	0.607	0.556	0.457	0.281
Biomásas modernas	GWa	0.141	0.203	0.292	0.408	0.576	0.852
Electricidad	GWa	0.209	0.309	0.451	0.641	0.927	1.266
Calefacción centralizada	GWa	0.000	0.000	0.000	0.080	0.176	0.356
Solar térmica	GWa	0.000	0.000	0.000	0.012	0.030	0.074
Combustibles fósiles	GWa	2.161	2.587	3.185	3.800	4.710	5.491
Total	GWa	3.067	3.675	4.535	5.498	6.876	8.320

Fuente: MAED_D

Los resultados del Módulo 1 se esquematizan a continuación, con especial atención en que los resultados de demanda eléctrica son utilizados en el Módulo 2 (MAED_EL):

Figura A11: Resumen General Módulo 1



Fuente: MAED_D

Cálculos de la Demanda de Potencia Eléctrica Horaria (Módulo 2)

El segundo módulo del MAED fue desarrollado para convertir la demanda de electricidad anual de cada sector económico (considerado para la proyección de la demanda en el Módulo 1) en la demanda de electricidad horaria para todo el año. Para el cálculo de la demanda de la electricidad horaria, el Módulo considera cuatro sectores económicos:

Industrial, Transporte, Residencial y Servicios y hasta seis clientes en cada uno de estos sectores.

Se utilizan varios factores de modulación para calcular la demanda horaria a partir de la demanda de electricidad anual. Estos factores caracterizan los cambios en el consumo de electricidad con respecto al consumo de electricidad promedio durante un año, semana o día.

El módulo convierte la demanda total de electricidad anual de un sector en la carga de electricidad del sector en una hora dada, día y semana del año, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La tendencia de la tasa de crecimiento promedio de la demanda de electricidad durante el año.
- Los cambios en el nivel de consumo de electricidad perteneciente a varias estaciones del año (esta variación se refleja en una base semanal en el Módulo).
- Los cambios en el nivel de consumo de electricidad propios del tipo de día que se está considerando (es decir, días de trabajo, fines de semana, días feriados, etc.).
- La variación horaria del consumo de electricidad durante un tipo de día en particular.

La tendencia de la tasa de crecimiento promedio de la demanda de electricidad ya es conocida de los resultados del Módulo 1. La variación de la carga de electricidad de un sector dado por hora, día y semana es caracterizada por tres conjuntos de coeficientes de modulación, que están definidos para las 24 horas del día, por tipo de días en una semana y por cada semana en el año. Conocer todos estos coeficientes para un año determinado nos permite calcular la carga de electricidad horaria cronológica para las 8760 horas de ese año.

Identificación del Calendario

En el modelo MAED_EL, el año es dividido en cuatro temporadas y un período festivo especial, el cual puede tener un patrón de consumo de electricidad diferente de estas cuatro temporadas. El usuario define la fecha del primer día de cada temporada, para cada año de referencia considerado en el período de estudio, con el fin de identificar las diferentes temporadas durante el año.

Consideración de la tasa de crecimiento de la demanda de electricidad durante el año: Coeficiente T(i)

Para llegar a un día estándar, la primera corrección a realizar corresponde a la tendencia general del crecimiento del consumo de electricidad durante el año. Esta tendencia se representa por un “deflactor” que se calcula sobre una base semanal (con un total de 52

valores en el año), de manera que el deflactor del consumo de electricidad bruto (es decir, el coeficiente de tendencia de crecimiento) para la semana “i” es:

$$T(i) = \left[1 + \frac{GROWTH}{100} \right]^{\left(\frac{i-26}{52} \right)}$$

Donde GROWTH es la tasa de crecimiento anual promedio de la demanda de electricidad del sector que se está trabajando entre el año último previo y el año actual. La tasa de crecimiento es definida por el usuario (para el primer año) o calculada por el programa a partir de la información leída del Módulo 1 (para los años subsiguientes).

Coeficientes por temporadas: K(i)

Con el objetivo de tener en cuenta el impacto de la temporada sobre el consumo de electricidad de un sector, se utiliza el “deflactor de temporada”. Para el período de tiempo “i”, K(i) representa el peso promedio de este período en el consumo de electricidad total para el año.

En el Módulo 2, se ha seleccionado la semana como la unidad de tiempo elemental para representar estas variaciones por temporadas y, por tanto, 53 coeficientes K(i) deben ser suministrados como datos de entrada para cada año de referencia del período de estudio, teniendo presente que al menos una de la primera y la última semana no será una semana completa. Por eso, el único cálculo que realiza el programa para estos coeficientes es el control:

$$\sum_{i=1}^{53} K(i) = 53$$

Coeficientes de ponderación diarios: P(i, id)

Este tipo de coeficientes refleja las fluctuaciones del consumo de electricidad debido al tipo de día que está siendo considerado, es decir día laborable, sábado, domingo. En general estos coeficientes fluctúan en todo el año de acuerdo al período de tiempo considerado (en el MAED, la semana, como se explicó en la sub-sección precedente) por tanto ellos son representados más adecuadamente como P (i, id), {i = 1, 53} e {id = 1, 7}. Nuevamente, estos coeficientes deben ser dados como datos de entrada para cada año de referencia del período de estudio

Coeficientes Horarios: LCS(h, id)

El objetivo del coeficiente horario es ponderar el consumo de energía para las 24 horas del día. Para cada hora “h” de un día se dará un coeficiente de acuerdo al nivel de consumo en esa hora, de forma tal que la suma de los coeficientes para el día sea igual a 24.

Requerimiento de Datos del MAED_EL

Los datos de consumo eléctrico de cada sector los recibe el MAED_EL de el MAED_D, y estos son de la forma:

Cuadro A30 : Consumo de electricidad final por sectores (del MAED_D)

Ítem	Unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Industria	GWa	0.494	0.662	0.882	1.143	1.460	1.746
Transporte	GWa	0.063	0.079	0.100	0.128	0.162	0.203
Residencial	GWa	0.249	0.378	0.558	0.811	1.173	1.638
Servicios	GWa	2.062	2.641	3.418	4.449	5.793	7.553
Total	GWa	2.868	3.760	4.959	6.531	8.588	11.140

Fuente: MAED_EL

Se deben además definir los días festivos, las temporadas del año, los días normales de la semana y los días típicos, esto es:

Cuadro A31: Definición Días Festivos

Año	Descripción	cada semana	días independientes
2000	libre especial	Dom	1-Jan
2005	libre especial	Dom 0	1-Jan
2010	libre especial	Dom 0	1-Jan
2015	libre especial	Dom 0	1-Jan
2020	libre especial	Dom 0	1-Jan
2025	libre especial	Dom 0	1-Jan

Fuente: MAED_EL

Cuadro A32: Inicio y Término de Temporadas

Temporada	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Invierno	1-Jan	1-Jan	1-Jan	1-Jan	1-Jan	1-Jan
Primavera	21-Mar	21-Mar	21-Mar	21-Mar	21-Mar	21-Mar
Verano	1-Jun	1-Jun	1-Jun	1-Jun	1-Jun	1-Jun

Otoño	1-Oct 31-Dec	1-Oct 31-Dec	1-Oct 31-Dec	1-Oct 31-Dec	1-Oct 31-Dec	1-Oct 31-Dec
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Fuente: MAED_EL

Cuadro A33 : Definición de los días normales y típicos de la semana

	1	2	3	4	5	6	7
Todos	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie

Definición de los días típicos de la semana

	1	2	3	4	5	6	7
Reducidos	Sab	Dom	DTr				

Fuente: MAED_EL

Así también, se debe definir la estructura de consumos de electricidad.

Cuadro A34 : Estructura de la electricidad suministrada por la red principal a cada sector

	unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Industria	%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Transporte	%	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Residencial	%	50.00	53.00	53.00	53.00	53.00	53.00
Servicios	%	60.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00

Fuente: MAED_EL

El MAED_EL requiere de la especificación de la estructura de los clientes de la Industria, Transporte, Residencial y de Servicios. Por ejemplo, la estructura de los clientes de la Industria se presenta de la siguiente forma:

Cuadro A35: Estructura de los clientes de la Industria:

	unidad	2000	2005	2010	2015	2020	2025
ind1	%	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
ind2	%	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ind3	%	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: MAED_EL

Los consumos diarios, semanales y anuales son especificados a través de coeficientes como se muestra a continuación:

Cuadro A36 : Coeficientes de consumo semanal

sem	temporada	2000	2005	...	2025	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
1	invierno	1.01	1.02	....	1.50	0.98	0.99	1.01	1.02	1.01	1.02	0.98
2	invierno	1.02	1.03	....	1.61	0.98	0.99	1.01	1.02	1.01	1.02	0.98
3	invierno	1.03	1.05	....	1.60	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.02	0.99
4	invierno	0.94	0.96	....	1.40	1.00	1.11	1.00	0.94	0.96	0.99	1.00
5	invierno	1.00	1.02	....	1.66	0.96	0.99	1.00	1.00	1.04	1.04	0.96
6	invierno	0.99	1.00	....	1.59	0.99	1.01	0.99	1.00	1.00	1.01	0.99
7	invierno	0.99	1.01	....	1.34	0.94	1.03	1.03	1.04	1.00	1.02	0.94
8	invierno	0.95	0.97	....	1.20	0.97	1.02	1.02	1.02	1.05	0.95	0.97
9	invierno	0.99	1.01	....	1.01	0.96	1.02	1.03	1.01	1.00	1.03	0.96
10	primavera	1.00	1.02	....	0.72	0.95	1.01	1.01	1.02	1.04	1.02	0.95
11	primavera	0.97	0.98	....	0.55	0.98	0.99	0.97	1.00	1.04	1.05	0.98
12	primavera	1.01	1.03	....	0.38	0.98	0.99	0.97	1.00	1.04	1.05	0.98
13	primavera	1.01	1.03	....	0.31	0.98	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0.98
14	primavera	0.86	0.87	....	0.34	1.01	0.98	0.97	0.98	1.00	1.05	1.01
15	primavera	0.93	0.95	....	0.34	0.96	1.00	0.98	1.01	1.05	1.04	0.96
16	primavera	0.91	0.92	....	0.47	0.95	0.97	1.00	1.04	1.04	1.04	0.95
17	primavera	0.92	0.93	....	0.72	0.95	0.98	1.02	1.02	1.03	1.04	0.95
18	primavera	0.93	0.95	....	0.92	0.95	1.02	1.01	1.02	1.01	1.04	0.95
19	primavera	0.96	0.97	....	1.01	0.95	1.01	1.03	1.02	1.03	1.02	0.95
20	verano	0.96	0.97	....	1.01	0.96	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	0.96
21	verano	0.96	0.98	....	1.01	0.93	1.02	1.04	1.04	1.04	1.01	0.93
22	verano	0.95	0.97	....	1.01	0.93	1.04	1.05	1.03	1.02	1.01	0.93
23	verano	0.93	0.95	....	1.01	0.95	1.00	1.03	1.01	1.03	1.04	0.95
24	verano	0.96	0.97	....	1.01	0.94	1.02	1.02	1.01	1.04	1.04	0.94
25	verano	0.96	0.97	....	1.01	0.94	1.02	1.02	1.01	1.04	1.04	0.94
26	verano	0.99	1.00	....	1.01	0.93	1.02	1.03	1.04	1.03	1.01	0.93
27	verano	0.98	1.00	....	1.01	0.95	0.99	1.01	1.03	1.03	1.02	0.95
28	verano	1.01	1.03	....	1.01	0.93	1.03	1.03	1.04	1.02	1.02	0.93
29	verano	1.03	1.05	....	1.01	0.92	1.01	1.04	1.04	1.04	1.03	0.92
30	verano	1.05	1.07	....	1.01	0.94	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	0.94
31	verano	1.06	1.08	....	1.01	0.93	1.01	1.00	1.04	1.04	1.04	0.93
32	verano	1.05	1.07	....	1.01	0.94	1.02	1.03	1.02	1.02	1.03	0.94
33	verano	1.04	1.06	....	1.01	0.97	1.04	1.04	1.04	0.94	1.02	0.97
34	verano	1.08	1.09	....	1.01	0.94	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	0.94
35	verano	1.06	1.08	....	1.01	0.93	1.04	1.04	1.05	1.00	1.02	0.93
36	verano	1.04	1.06	....	1.01	0.93	1.02	1.02	1.04	1.04	1.03	0.93
37	verano	1.02	1.04	....	1.01	0.92	1.02	1.02	1.04	1.04	1.03	0.92
38	otoño	0.99	1.01	....	1.01	0.93	1.04	1.04	1.04	1.01	1.02	0.93
39	otoño	0.96	0.98	....	1.01	0.94	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	0.94
40	otoño	0.96	0.98	....	1.01	0.97	1.01	1.02	1.02	1.02	1.00	0.97



sem	temporada	2000	2005	...	2025	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
41	otoño	0.96	0.98	....	1.01	0.95	1.02	1.02	1.02	1.03	1.01	0.95
42	otoño	0.91	0.92	....	1.01	0.94	1.01	1.02	1.03	1.01	1.05	0.94
43	otoño	0.91	0.93	....	1.01	0.95	1.01	1.02	1.01	1.02	1.03	0.95
44	otoño	0.90	0.91	....	1.01	0.96	0.99	1.01	1.01	1.02	1.04	0.96
45	otoño	0.89	0.90	....	1.01	0.97	1.01	1.00	1.00	1.02	1.03	0.97
46	otoño	0.93	0.95	....	1.01	0.98	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	0.98
47	otoño	0.94	0.96	....	1.01	0.94	1.02	1.03	1.03	1.01	1.01	0.94
48	otoño	0.92	0.94	....	1.01	0.99	1.01	1.00	1.00	0.99	1.02	0.99
49	otoño	1.05	1.07	....	1.01	0.96	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	0.96
50	otoño	1.07	1.08	....	1.01	0.96	0.99	1.02	1.01	1.03	1.03	0.96
51	otoño	1.04	1.06	....	1.01	0.98	1.03	1.05	0.99	0.96	1.02	0.98
52	otoño	1.97	1.07	....	1.01	0.97	0.99	1.01	1.02	1.03	1.02	0.97
53	otoño	1.07	1.09	....	0.97	0.96	1.01	1.04	1.01	1.01	1.01	0.96
Total	#NAME?	53.0	53.0		53.0	Sab	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie

Fuente: MAED_EL

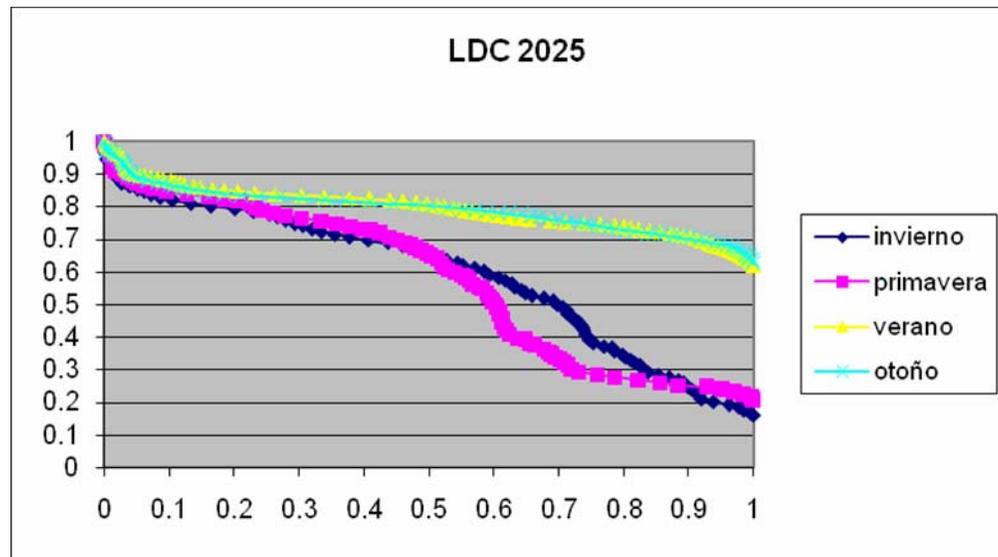
Con los datos anteriores el programa entrega curvas de carga y datos asociado a la demanda, esto es:

Cuadro A37: Resultados MAED_EL

2025	total	invierno	primavera	verano	otoño
Demanda máxima (MW):	16106.801	16106.801	10247.875	10504.089	10813.285
Rel. con el pico anual	1.000	1.000	0.636	0.652	0.671
Energía (GWh):	71167.313	18089.633	10051.420	24392.425	18633.836
Factor de carga (%):	50.44	58.50	56.76	79.31	78.90
Número de horas:	8760	1920	1728	2928	2184
Diff. to annual demand:	-46.168				
% Diff. to ann. demand:	-0.1				

Fuente: MAED_EL

Figura A12 : Curva de Duración Anual



Fuente: MAED_EL

4. Ventajas y Desventajas del MAED

MAED como método de uso final

Se fundamenta en el hecho que la energía es sólo un intermediario en la obtención de determinados bienes, tales como: calor, luz, potencia, etc.

Ventajas:

- Permite alcanzar un mejor conocimiento de los factores que inciden en el consumo de energía: de tipo tecnológico y socioeconómico.
- Permite independizarse de la estructura actual del consumo.
- El nivel de detalle del análisis puede ser graduado por el usuario en función de la información disponible.
- Pueden ser usados con fines normativos

Desventajas:

- Se puede tender a concentrar el análisis en aspectos físicos, dejando de lado efectos provocados por los precios u otras variables económicas
- La necesidad de datos crece significativamente con el nivel de detalle y sofisticación del modelo

MAED como método multienergético



Trata simultáneamente la demanda final de las diferentes formas de energía. Se distinguen usos específicos de aquellos en los cuales diferentes formas de energía compiten.

Ventaja:

- Es muy adecuado para fines normativos, pues permiten una visión en perspectiva del sector energético de un país.

Desventaja:

- Requiere enormes volúmenes de información y extensos periodos de trabajo de equipos multidisciplinarios.

MAED como enfoque sectorial

Analiza la evolución del consumo de energía eléctrica a nivel de los distintos sectores de la economía.

Ventaja:

- Relaciones más fidedignas a nivel sectorial que para el conjunto, permite establecer desagregación espacial.

Desventaja:

- Requiere mucha información estadística.



ANEXO 3: RESUMEN DE METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

Sector	Sub sector	Metodología de estimación	Energético	Driver	Estimación del driver	Fuentes
Sector Industrial y minero	Cobre	Econométrica	Electricidad	Proyección de Concentrado de cobre y de Cátodo de cobre	COCHILCO	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; Concentrados y cátodos COCHILCO
		Econométrica	Diesel	Proyección de Concentrado de cobre y de Cátodo de cobre	COCHILCO	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; Concentrados y cátodos COCHILCO
		Econométrica	Gas natural y petróleos combustibles	Proyección de Concentrado de cobre y de Cátodo de cobre	COCHILCO	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; Concentrados y cátodos COCHILCO
		Econométrica	Otros Energéticos (a)	Proyección de Concentrado de cobre y de Cátodo de cobre	COCHILCO	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; Concentrados y cátodos COCHILCO
	Papel y Celulosa	Econométrica	Electricidad	Proyección de producción de papel, celulosa y madera	Estimación en función del PIB y opinión experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Petróleos combustibles y Gas Natural	Proyección de producción de papel, celulosa y madera	Estimación en función del PIB y opinión experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Leña	Proyección de producción de papel, celulosa y madera	Estimación en función del PIB y opinión experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Otros energéticos (b)	Proyección de producción de papel, celulosa y madera	Estimación en función del PIB y opinión experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
	Cemento	Econométrica	Electricidad	Proyección de producción de cemento	Estimación en función del PIB	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Carbón	Proyección de producción de cemento	Estimación en función del PIB	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Diesel	Proyección de producción de cemento	Estimación en función del PIB	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Petróleos combustibles y Gas Natural	Proyección de producción de cemento	Estimación en función del PIB	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta

Sector	Sub sector	Metodología de estimación	Energético	Driver	Estimación del driver	Fuentes
		Econométrica	Otros Energéticos (c)	Proyección de producción de cemento	Estimación en función del PIB	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
	Industrias y Minas Varias	Econométrica	Electricidad	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Diesel	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Gas licuado	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Carbón	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Leña	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Petróleos combustibles y Gas Natural	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Otros Energéticos (d)	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
	Otros sectores (e)	Econométrica	Energéticos agregados	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
Sector Comercial, Público y Residencial	Sector Comercial, Público y Residencial	Econométrica	Electricidad	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Gas Natural y Gas Licuado	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Leña	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Otros Energéticos (f)	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
Transporte	Transporte terrestre	Econométrica	Gasolina	Proyección de parque de vehículos comerciales y livianos	Estimación en función del pib y del parque del año anterior	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta; Parque: Cálculos



Sector	Sub sector	Metodología de estimación	Energético	Driver	Estimación del driver	Fuentes
						propios
		Econométrica	Diesel	Proyección de parque de buses y camiones	Estimación en función del PIB y del parque del año anterior	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta; Parque: Cálculos propios
		Uso Final	Diesel	Proyección de parque de vehículos comerciales y livianos	Metodología de uso final	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta; Parque: Cálculos propios
	Transporte aéreo	Econométrica	Kerosene	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
	Transporte marítimo	Econométrica	Petróleo combustible	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Diesel	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
	Transporte ferroviario	Econométrica	Electricidad	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta
		Econométrica	Diesel	Proyección del PIB	Opinion experta	Energéticos históricos: Balance nacional de energía; PIB histórico: banco central; PIB proyectado: opinión experta

- (a) Los otros energéticos consumidos por Cobre son Kerosene, Gas licuado, Nafta, Carbón y Coke
 (b) Los otros energéticos consumidos por el sector Papel y celulosa son Diesel y Gas licuado
 (c) El consumo de otros energéticos en la industria del Cemento incorpora el consumo de Gas licuado y Coke
 (d) En el sector de Industria y minas varias se incluyen el consumo de Kerosene, Nafta, Coke y Metanol
 (e) “Otros sectores” esta compuesto por los sectores de salitre, hierro, siderurgica, petroquímica, azucar y pesca
 (f) Para el sector CPR los otros energéticos considerados son Petróleo Combustibles, Kerosene, Diesel, carbón y Gas Corriente



ANEXO 4: REGRESIONES SECTORIALES Y DATOS HISTÓRICOS

Subsector Cobre

Electricidad

Dependent Variable: LOG(ELECT)

Method: Least Squares

Date: 05/06/08 Time: 09:55

Sample: 1987 2006

Included observations: 20

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.619333	0.286540	5.651341	0.0000
LOG(CUC)	0.734920	0.039888	18.42451	0.0000
LOG(CUT)	0.242249	0.023061	10.50449	0.0000

R-squared	0.975843	Mean dependent var	8.812601
Adjusted R-squared	0.973001	S.D. dependent var	0.561020
S.E. of regression	0.092184	Akaike info criterion	-1.792584
Sum squared resid	0.144463	Schwarz criterion	-1.643224
Log likelihood	20.92584	F-statistic	343.3610
Durbin-Watson stat	0.517490	Prob(F-statistic)	0.000000

Diesel

Dependent Variable: LOG(DIESEL)

Method: Least Squares

Date: 05/06/08 Time: 09:57

Sample: 1987 2006

Included observations: 20

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.648881	0.412175	1.574287	0.1338
LOG(CUC)	0.770968	0.057377	13.43679	0.0000
LOG(CUT)	0.225642	0.033173	6.802006	0.0000

R-squared	0.952510	Mean dependent var	8.009843
Adjusted R-squared	0.946923	S.D. dependent var	0.575572
S.E. of regression	0.132602	Akaike info criterion	-1.065444
Sum squared resid	0.298917	Schwarz criterion	-0.916084
Log likelihood	13.65444	F-statistic	170.4868
Durbin-Watson stat	1.287649	Prob(F-statistic)	0.000000



Petróleos Combustibles y Gas natural

Dependent Variable: LOG(GN_PC)

Method: Least Squares

Date: 06/11/08 Time: 15:38

Sample: 1987 2006

Included observations: 20

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	10.13971	0.336386	30.14304	0.0000
LOG(CUC)	-0.204646	0.046827	-4.370245	0.0004
LOG(CUT)	-0.083963	0.027073	-3.101337	0.0065

R-squared	0.725222	Mean dependent var	8.029401
Adjusted R-squared	0.692895	S.D. dependent var	0.195283
S.E. of regression	0.108220	Akaike info criterion	-1.471818
Sum squared resid	0.199097	Schwarz criterion	-1.322458
Log likelihood	17.71818	F-statistic	22.43404
Durbin-Watson stat	1.556114	Prob(F-statistic)	0.000017

Datos utilizados en subsector Cobre

Años	Cu concentrado	Cu Cátodo	Diesel [Tcal]	Petróleo Combustible [Tcal]	Electricidad [Tcal]	Gas Natural [Tcal]
1973			854	3.138	1.508	0
1974			939	3.828	1.742	0
1975			1037	3.678	1.593	0
1976			1010	3.686	1.706	0
1977			895	4.076	1.834	0
1978			846	3.701	1.838	0
1979			1053	4.090	1.969	0
1980			1033	3.722	2.024	0
1981			970	3.352	1.991	0
1982			971	3.168	2.157	0
1983			942	3.366	2.168	0
1984			999	3.354	2.336	0
1985			1.129	3.319	2.467	0
1986			1.228	3.412	2.667	0
1987	628	790	1.222	3.497	2.774	0
1988	638	813	1.278	3.781	3.071	0
1989	702	907	1.388	4.008	3.367	0
1990	1.466	122	1.859	4.238	3.681	0
1991	1.694	120	1.827	3.804	3.953	0
1992	1.797	136	1.821	3.686	4.374	0
1993	1.900	155	1.939	3.330	4.488	0
1994	2.019	201	2.235	3.198	4.747	0
1995	2.116	373	2.534	2.796	5.282	0
1996	2.480	636	2.618	3.015	6.391	0
1997	2.511	881	3.183	3.286	7.388	0
1998	2.579	1.108	4.053	2.724	8.217	53
1999	3.029	1.362	4.596	2.644	9.176	429
2000	3.230	1.372	4.636	2.475	10.543	538
2001	3.201	1.538	5.300	1.558	11.059	792
2002	2.979	1.602	5.759	2.325	11.687	817
2003	3.251	1.653	5.096	1.559	13.747	1.104
2004	3.776	1.636	4.700	901	13.500	1.442
2005	3.736	1.585	6.430	759	13.639	1.678
2006	3.670	1.691	7.501	995	13.917	1.066

Subsector Cemento Producción de Cemento

Dependent Variable: LOG(CEM)

Method: Least Squares

Date: 05/10/08 Time: 11:40

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.517689	0.319748	-4.746509	0.0000
LOG(PIB)	0.903780	0.031966	28.27307	0.0000
R-squared	0.946706	Mean dependent var	7.509367	
Adjusted R-squared	0.945521	S.D. dependent var	0.507575	
S.E. of regression	0.118471	Akaike info criterion	-1.386668	
Sum squared resid	0.631597	Schwarz criterion	-1.307938	
Log likelihood	34.58669	F-statistic	799.3664	
Durbin-Watson stat	0.665711	Prob(F-statistic)	0.000000	

Electricidad

Dependent Variable: LOG(ELECT)

Method: Least Squares

Date: 05/31/08 Time: 20:02

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.380537	0.131282	-10.51583	0.0000
LOG(CEM)	0.893580	0.017443	51.22726	0.0000
R-squared	0.983141	Mean dependent var	5.329685	
Adjusted R-squared	0.982767	S.D. dependent var	0.457431	
S.E. of regression	0.060050	Akaike info criterion	-2.745663	
Sum squared resid	0.162269	Schwarz criterion	-2.666933	
Log likelihood	66.52308	F-statistic	2624.232	
Durbin-Watson stat	1.465889	Prob(F-statistic)	0.000000	

Diesel

Dependent Variable: LOG(DIESEL)

Method: Least Squares

Date: 05/06/08 Time: 10:14

Sample: 1978 2006

Included observations: 29

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-7.025073	2.132743	-3.293914	0.0028
LOG(CEM)	1.361800	0.273689	4.975724	0.0000
R-squared	0.478340	Mean dependent var		3.569294
Adjusted R-squared	0.459019	S.D. dependent var		0.898286
S.E. of regression	0.660702	Akaike info criterion		2.075444
Sum squared resid	11.78623	Schwarz criterion		2.169741
Log likelihood	-28.09394	F-statistic		24.75782
Durbin-Watson stat	0.917438	Prob(F-statistic)		0.000033

Carbón

Dependent Variable: LOG(CARB)

Method: Least Squares

Date: 05/31/08 Time: 20:17

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.865959	0.460746	10.56104	0.0000
LOG(CEM)	0.295879	0.061219	4.833091	0.0000
R-squared	0.341708	Mean dependent var		7.087825
Adjusted R-squared	0.327080	S.D. dependent var		0.256914
S.E. of regression	0.210751	Akaike info criterion		-0.234661
Sum squared resid	1.998713	Schwarz criterion		-0.155931
Log likelihood	7.514531	F-statistic		23.35877
Durbin-Watson stat	0.631750	Prob(F-statistic)		0.000016



Petróleos combustibles y gas natural

Dependent Variable: LOG(PC_GN)

Method: Least Squares

Date: 06/11/08 Time: 15:50

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-10.81548	2.052311	-5.269904	0.0000
LOG(CEM)	1.930193	0.272691	7.078312	0.0000
R-squared	0.526826	Mean dependent var		3.679044
Adjusted R-squared	0.516311	S.D. dependent var		1.349794
S.E. of regression	0.938751	Akaike info criterion		2.753088
Sum squared resid	39.65638	Schwarz criterion		2.831817
Log likelihood	-62.69756	F-statistic		50.10250
Durbin-Watson stat	0.391609	Prob(F-statistic)		0.000000

Datos utilizados en subsector cemento

Años	Producción de cemento	Carbón [Tcal]	Diesel [Tcal]	Electricidad [Tcal]	Petróleo Combustible [Tcal]	Gas natural [Tcal]
1973	1.378	1.332	0	157	20	0
1974	1.433	1.300	0	166	22	0
1975	9.83	804	0	128	104	0
1976	9.12	623	0	116	123	0
1977	1.004	677	0	132	152	0
1978	1.119	903	13	142	68	0
1979	1.318	1.010	4	147	13	0
1980	1.528	1.247	2	176	16	0
1981	1.889	1.393	22	200	19	0
1982	1.184	751	22	115	9	0
1983	1.277	781	39	142	11	0
1984	1.415	795	25	154	15	0
1985	1.434	771	24	157	14	0
1986	1.449	857	30	161	10	0
1987	1.603	929	27	177	12	0
1988	1.857	1.176	31	209	16	0
1989	2.008	1.264	32	220	23	0
1990	2.049	1.361	33	234	38	0
1991	2.166	1.240	28	252	40	0
1992	2.629	1.731	28	292	47	0
1993	3.039	1.560	61	324	33	0
1994	3.031	1.189	56	341	32	0
1995	3.327	1.247	27	354	48	0
1996	3.721	1.310	44	374	154	0
1997	3.861	1.618	49	407	99	0
1998	3.970	1.188	100	402	128	0
1999	3.116	1.486	99	345	258	0
2000	3.469	1.668	116	343	232	8
2001	3.587	1.442	125	364	72	373
2002	3.684	1.289	87	397	35	355
2003	3.874	1.618	40	439	22	510
2004	4.023	1.722	55	414	234	395
2005	4.379	1.393	69	423	243	293
2006	4.261	1.656	58	510	304	126

Subsector Papel y Celulosa Papel

Dependent Variable: LOG(PAPEL)
Method: Least Squares
Date: 06/01/08 Time: 10:48
Sample: 1960 2006
Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5.088414	0.451685	-11.26541	0.0000
LOG(PIB)	1.103241	0.045156	24.43167	0.0000
R-squared	0.929896	Mean dependent var	5.930875	
Adjusted R-squared	0.928338	S.D. dependent var	0.625170	
S.E. of regression	0.167356	Akaike info criterion	-0.695767	
Sum squared resid	1.260360	Schwarz criterion	-0.617037	
Log likelihood	18.35051	F-statistic	596.9065	
Durbin-Watson stat	0.283887	Prob(F-statistic)	0.000000	

Celulosa

Dependent Variable: LOG(CELULOSA)
Method: Least Squares
Date: 06/01/08 Time: 10:48
Sample: 1960 2006
Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-10.58163	0.759939	-13.92431	0.0000
LOG(PIB)	1.723310	0.075973	22.68314	0.0000
R-squared	0.919575	Mean dependent var	6.630985	
Adjusted R-squared	0.917787	S.D. dependent var	0.982008	
S.E. of regression	0.281569	Akaike info criterion	0.344740	
Sum squared resid	3.567641	Schwarz criterion	0.423470	
Log likelihood	-6.101397	F-statistic	514.5249	
Durbin-Watson stat	0.234758	Prob(F-statistic)	0.000000	

Madera aserrada

Dependent Variable: LOG(MADERA)

Method: Least Squares

Date: 05/17/08 Time: 15:50

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-5.749504	0.464032	-12.39031	0.0000
LOG(PIB)	1.341699	0.046391	28.92179	0.0000
R-squared	0.948949	Mean dependent var		7.651529
Adjusted R-squared	0.947814	S.D. dependent var		0.752625
S.E. of regression	0.171931	Akaike info criterion		-0.641827
Sum squared resid	1.330210	Schwarz criterion		-0.563098
Log likelihood	17.08295	F-statistic		836.4698
Durbin-Watson stat	0.765459	Prob(F-statistic)		0.000000

Electricidad

Dependent Variable: LOG(ELECT)

Method: Least Squares

Date: 05/31/08 Time: 21:28

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.123982	0.241634	-0.513099	0.6105
LOG(PAPEL)	0.499821	0.120058	4.163149	0.0001
LOG(CELULOSA)	0.330214	0.068526	4.818786	0.0000
LOG(MADERA)	0.236553	0.079232	2.985567	0.0047
R-squared	0.984721	Mean dependent var		6.840033
Adjusted R-squared	0.983655	S.D. dependent var		0.811654
S.E. of regression	0.103767	Akaike info criterion		-1.612072
Sum squared resid	0.463007	Schwarz criterion		-1.454613
Log likelihood	41.88369	F-statistic		923.7907
Durbin-Watson stat	0.845056	Prob(F-statistic)		0.000000



Leña

Dependent Variable: LOG(LENA)

Method: Least Squares

Date: 05/31/08 Time: 21:37

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.712720	0.779109	6.048856	0.0000
LOG(PAPEL)	0.076625	0.387109	0.197942	0.8440
LOG(CELULOSA)	0.912176	0.220952	4.128398	0.0002
LOG(MADERA)	-0.413391	0.255471	-1.618149	0.1129
R-squared	0.802142	Mean dependent var	8.052729	
Adjusted R-squared	0.788338	S.D. dependent var	0.727239	
S.E. of regression	0.334579	Akaike info criterion	0.729380	
Sum squared resid	4.813565	Schwarz criterion	0.886840	
Log likelihood	-13.14043	F-statistic	58.10905	
Durbin-Watson stat	0.522251	Prob(F-statistic)	0.000000	

Petróleos Combustibles y Gas Natural

Dependent Variable: LOG(PC_GN)

Method: Least Squares

Date: 06/08/08 Time: 14:15

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.574280	0.712225	5.018469	0.0000
LOG(PAPEL)	2.144869	0.353877	6.061067	0.0000
LOG(CELULOSA)	0.301764	0.201984	1.494001	0.1425
LOG(MADERA)	-1.489960	0.233540	-6.379894	0.0000
R-squared	0.814438	Mean dependent var	6.895748	
Adjusted R-squared	0.801492	S.D. dependent var	0.686482	
S.E. of regression	0.305857	Akaike info criterion	0.549866	
Sum squared resid	4.022581	Schwarz criterion	0.707325	
Log likelihood	-8.921851	F-statistic	62.90957	
Durbin-Watson stat	0.787383	Prob(F-statistic)	0.000000	

Datos utilizados en subsector papel y celulosa (Teracalorías)

Años	Petróleo Combustible [Tcal]	Electricidad [Tcal]	Leña [Tcal]	Gas Natural [Tcal]	Madera Aserrada	Papel	Celulosa
1973	1.511	485	1.788	0	932	251	350
1974	1.411	562	2.373	0	1.399	307	433
1975	1.383	583	2.346	0	960	266	436
1976	1.377	590	2.726	0	1.223	298	515
1977	1.584	672	3.171	0	1.336	300	603
1978	1.465	726	3.986	0	1.475	301	665
1979	1.021	717	4.082	0	2.196	306	701
1980	1.090	758	4.453	0	2.250	324	771
1981	916	733	4.113	0	1.732	320	751
1982	671	689	4.172	0	1.172	263	677
1983	704	828	5.108	0	1.606	325	807
1984	729	870	5.512	0	2.002	366	851
1985	728	879	5.358	0	2.191	369	849
1986	712	877	5.117	0	2.026	388	859
1987	546	939	5.318	0	2.677	442	883
1988	586	961	5.144	0	2.710	450	910
1989	630	907	4.326	0	2.681	438	841
1990	638	1.039	4.944	0	3.327	462	8.04
1991	1.330	1.330	6.995	0	3.218	486	1.113
1992	1.618	1.795	7.940	0	3.019	508	1.680
1993	1.405	1.834	4.379	0	3.113	528	1.864
1994	1.548	1.821	4.287	0	3.364	553	1.953
1995	1.520	2.037	4.441	0	3.802	574	2.112
1996	1.620	2.152	4.369	0	4.140	597	2.146
1997	1.558	1.969	2.967	0	4.661	614	2.078
1998	1.476	2.188	4.620	331	4.551	642	2.210
1999	876	2.366	5.793	250	5.254	796	2.434
2000	1.625	2.739	7.917	325	5.698	861	2.592
2001	1.438	3.134	5.630	325	5.872	874	2.668
2002	1.519	3.580	6.313	925	6.439	1.016	2.687
2003	1.245	3.322	3.757	1.144	7.005	1.098	2.759
2004	1.001	3.477	5.707	1.467	8.015	1.139	3.339
2005	1.338	3.742	7.364	830	8.298	1.184	3.237
2006	1.605	4.282	9.269	1.382	8.718	1.203	3.483

Subsector Industrias y Minas Varias Electricidad

Dependent Variable: LOG(ELECT)
Method: Least Squares
Date: 05/31/08 Time: 20:23
Sample: 1960 2006
Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.844496	0.270754	-25.27939	0.0000
LOG(PIB)	1.456966	0.027068	53.82612	0.0000
R-squared	0.984706	Mean dependent var	7.707840	
Adjusted R-squared	0.984366	S.D. dependent var	0.802308	
S.E. of regression	0.100318	Akaike info criterion	-1.719315	
Sum squared resid	0.452870	Schwarz criterion	-1.640586	
Log likelihood	42.40391	F-statistic	2897.251	
Durbin-Watson stat	0.596640	Prob(F-statistic)	0.000000	

Carbón

Dependent Variable: LOG(CARB)
Method: Least Squares
Date: 05/31/08 Time: 20:27
Sample: 1960 2006
Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.795393	1.156666	2.416769	0.0198
LOG(PIB)	0.436097	0.115635	3.771326	0.0005
R-squared	0.240159	Mean dependent var	7.151181	
Adjusted R-squared	0.223273	S.D. dependent var	0.486272	
S.E. of regression	0.428562	Akaike info criterion	1.184857	
Sum squared resid	8.264928	Schwarz criterion	1.263587	
Log likelihood	-25.84414	F-statistic	14.22290	
Durbin-Watson stat	0.922615	Prob(F-statistic)	0.000471	

Diesel

Dependent Variable: LOG(DIESEL)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 20:24

Sample: 1973 2006

Included observations: 34

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.584912	0.641187	-7.150666	0.0000
LOG(PIB)	1.254697	0.062802	19.97849	0.0000
R-squared	0.925778	Mean dependent var	8.210592	
Adjusted R-squared	0.923459	S.D. dependent var	0.641495	
S.E. of regression	0.177477	Akaike info criterion	-0.562935	
Sum squared resid	1.007933	Schwarz criterion	-0.473149	
Log likelihood	11.56989	F-statistic	399.1402	
Durbin-Watson stat	0.868729	Prob(F-statistic)	0.000000	

Gas Licuado

Dependent Variable: LOG(GL)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 20:23

Sample: 1973 2006

Included observations: 34

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-8.645865	0.645049	-13.40341	0.0000
LOG(PIB)	1.480120	0.063181	23.42676	0.0000
R-squared	0.944905	Mean dependent var	6.448520	
Adjusted R-squared	0.943183	S.D. dependent var	0.749050	
S.E. of regression	0.178546	Akaike info criterion	-0.550922	
Sum squared resid	1.020114	Schwarz criterion	-0.461136	
Log likelihood	11.36567	F-statistic	548.8132	
Durbin-Watson stat	0.906730	Prob(F-statistic)	0.000000	

Leña

Dependent Variable: LOG(LENA)

Method: Least Squares

Date: 06/18/08 Time: 16:38

Sample: 1983 2006

Included observations: 24

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.673631	0.429988	-6.217922	0.0000
LOG(PIB)	1.005588	0.041253	24.37619	0.0000
R-squared	0.964297	Mean dependent var		7.799866
Adjusted R-squared	0.962674	S.D. dependent var		0.425137
S.E. of regression	0.082136	Akaike info criterion		-2.081230
Sum squared resid	0.148418	Schwarz criterion		-1.983059
Log likelihood	26.97476	F-statistic		594.1988
Durbin-Watson stat	0.876476	Prob(F-statistic)		0.000000

Petróleos combustibles y gas natural

Dependent Variable: LOG(GN_PC)

Method: Least Squares

Date: 06/08/08 Time: 15:11

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.798281	0.600174	-1.330082	0.1902
LOG(PIB)	0.880418	0.060001	14.67338	0.0000
R-squared	0.827128	Mean dependent var		7.995434
Adjusted R-squared	0.823286	S.D. dependent var		0.528990
S.E. of regression	0.222373	Akaike info criterion		-0.127296
Sum squared resid	2.225247	Schwarz criterion		-0.048566
Log likelihood	4.991459	F-statistic		215.3081
Durbin-Watson stat	0.663398	Prob(F-statistic)		0.000000

Datos utilizados en subsector Industrias y Minas Varias

Años	Pib	Diesel [Tcal]	Pc [Tcal]	Electricidad [Tcal]	Carbon [Tcal]	Gas licuado [Tcal]	Leña [Tcal]	Gn [Tcal]
1973	14.858	1.778	2.095	1.307	1.277	290	564	19
1974	15.003	1.963	1.988	1.299	1.155	226	524	37
1975	13.066	1.675	1.371	1.099	726	242	512	19
1976	13.526	1.717	1.507	1.342	832	242	462	94
1977	14.860	1.771	1.817	1.359	785	290	456	94
1978	16.081	1.758	2.247	1.395	791	290	483	94
1979	17.412	1.563	2.816	1.563	720	315	641	84
1980	18.796	1.674	3.039	1.638	901	339	823	84
1981	19.963	1.621	2.503	1.791	955	363	994	93
1982	17.251	1.785	1.925	1.703	347	233	1.187	93
1983	16.767	2.120	2.436	1.771	435	295	1.211	67
1984	17.754	2.425	2.490	1.959	817	291	1.456	72
1985	18.104	2.011	2.371	2.129	1.828	350	1.299	71
1986	19.117	2.798	2.336	2.287	1.501	411	1.365	79
1987	20.375	3.080	2.068	2.442	1.412	413	1.432	96
1988	21.860	3.354	2.207	2.527	1.652	489	1.502	97
1989	24.178	4.599	2.176	2.966	2.050	572	1.585	95
1990	25.066	3.439	1.705	2.739	1.459	596	1.664	32
1991	27.063	3.916	1.970	3.136	1.419	611	1.743	55
1992	30.385	2.906	4.340	3.664	1.539	719	2.491	70
1993	32.512	5.130	4.275	4.013	1.294	1.042	2.606	55
1994	34.370	5.097	4.238	4.326	834	901	2.770	111
1995	38.023	6.446	5.487	5.261	884	1.167	3.074	103
1996	40.838	7.680	4.323	5.514	1.304	1.221	3.383	121
1997	43.535	8.843	4.816	5.942	6.246	1.438	3.246	2.895
1998	44.942	7.084	3.407	5.741	2.852	2.411	3.260	2.449
1999	44.600	6.084	2.695	7.342	2.560	1.904	3.365	2.718
2000	46.602	5.832	2.812	6.691	1.493	1.655	3.378	6.388
2001	48.176	7.884	2.648	6.997	3.665	1.178	3.445	5.902
2002	49.228	6.697	1.304	6.665	2.280	1.511	3.818	5.598
2003	51.156	7.969	2.632	7.081	1.600	1.365	3.919	5.220
2004	54.217	9.439	1.479	8.398	1.759	1.372	3.840	5.767
2005	57.316	7.703	1.952	8.174	1.413	1.566	3.846	4.495
2006	59.589	10.369	2.242	8.845	1.346	1.693	3.779	3.956

CPR Electricidad

Dependent Variable: LOG(ELECT)

Method: Least Squares

Date: 05/23/08 Time: 16:30

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.514439	0.461814	-14.10620	0.0000
LOG(PIB)	1.461193	0.046160	31.65502	0.0000
R-squared	0.957022	Mean dependent var	8.083024	
Adjusted R-squared	0.956067	S.D. dependent var	0.814471	
S.E. of regression	0.170716	Akaike info criterion	-0.656015	
Sum squared resid	1.311470	Schwarz criterion	-0.577285	
Log likelihood	17.41636	F-statistic	1002.040	
Durbin-Watson stat	0.172089	Prob(F-statistic)	0.000000	

Leña

Dependent Variable: LOG(LENA)

Method: Least Squares

Date: 05/23/08 Time: 16:31

Sample: 1960 2006

Included observations: 47

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.936010	0.402928	9.768509	0.0000
LOG(PIB)	0.579625	0.040274	14.39202	0.0000
R-squared	0.821521	Mean dependent var	9.726526	
Adjusted R-squared	0.817555	S.D. dependent var	0.348712	
S.E. of regression	0.148948	Akaike info criterion	-0.928821	
Sum squared resid	0.998344	Schwarz criterion	-0.850092	
Log likelihood	23.82730	F-statistic	207.1301	
Durbin-Watson stat	0.074055	Prob(F-statistic)	0.000000	



Gas natural y gas licuado

Dependent Variable: LOG(GN_GL)

Method: Least Squares

Date: 06/08/08 Time: 15:54

Sample (adjusted): 1971 2006

Included observations: 36 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.813244	0.346309	2.348319	0.0248
LOG(PIB)	0.805817	0.034012	23.69224	0.0000
R-squared	0.942888	Mean dependent var		9.008766
Adjusted R-squared	0.941208	S.D. dependent var		0.408249
S.E. of regression	0.098988	Akaike info criterion		-1.733681
Sum squared resid	0.333154	Schwarz criterion		-1.645708
Log likelihood	33.20626	F-statistic		561.3220
Durbin-Watson stat	0.374699	Prob(F-statistic)		0.000000

Datos utilizados en sector CPR

Años	PIB	Gas licuado [Tcal]	Electricidad [Tcal]	Leña [Tcal]	Gas Natural [Tcal]
1973	14.859	4.332	2.020	10.720	420
1974	15.003	4.566	2.113	10.339	692
1975	13.066	4.429	2.118	9.954	812
1976	13.526	4.695	2.120	9.578	877
1977	14.859	5.010	2.190	9.198	952
1978	16.081	5.070	2.399	8.817	1.027
1979	17.412	5.118	2.557	12.054	1.037
1980	18.796	5.197	2.715	12.292	1.018
1981	19.963	5.397	2.979	12.534	1.018
1982	17.251	5.491	3.019	12.786	1.084
1983	16.767	4.837	2.971	13.425	1.287
1984	17.754	4.950	3.231	14.095	1.377
1985	18.104	4.698	3.290	14.802	1.359
1986	19.117	4.855	3.464	15.540	1.492
1987	20.375	5.186	3.689	16.319	1.409
1988	21.860	5.643	3.907	17.134	1.533
1989	24.178	5.987	4.184	17.995	1.583
1990	25.066	6.204	4.329	18.916	1.672
1991	27.063	6.660	4.542	19.863	1.757
1992	30.385	7.366	4.947	20.661	1.825
1993	32.512	7.795	5.374	21.692	1.864
1994	34.370	8.159	5.862	22.996	1.881
1995	38.023	8.796	6.299	24.368	1.957
1996	40.838	9.542	7.039	25.826	2.008
1997	43.535	9.789	7.525	27.117	2.168
1998	44.942	9.764	8.257	27.113	2.100
1999	44.600	10.536	8.667	27.658	2.539
2000	46.602	10.863	9.195	27.934	3.328
2001	48.176	10.800	10.271	28.487	4.189
2002	49.228	10.102	10.724	28.630	4.129
2003	51.156	10.265	11.313	28.773	4.140
2004	54.217	10.441	12.480	29.000	4.357
2005	57.316	9.947	13.216	29.067	4.695
2006	59.589	10.014	13.764	29.212	5.041

Transporte

Parque vehículos livianos

Dependent Variable: LOG(PVL)
Method: Least Squares
Date: 05/10/08 Time: 15:55
Sample (adjusted): 1976 2005
Included observations: 30 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.075376	0.280591	-0.268634	0.7903
LOG(PVL(-1))	0.742179	0.076795	9.664411	0.0000
LOG(PIB)	0.326550	0.107352	3.041853	0.0052
R-squared	0.990950	Mean dependent var		12.48096
Adjusted R-squared	0.990279	S.D. dependent var		0.623733
S.E. of regression	0.061496	Akaike info criterion		-2.645052
Sum squared resid	0.102107	Schwarz criterion		-2.504932
Log likelihood	42.67578	F-statistic		1478.168
Durbin-Watson stat	1.695748	Prob(F-statistic)		0.000000

Parque vehículos de pasajeros

Dependent Variable: LOG(PVP)
Method: Least Squares
Date: 05/10/08 Time: 15:53
Sample (adjusted): 1961 2005
Included observations: 45 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.214046	0.173759	1.231853	0.2249
LOG(PVP(-1))	0.949900	0.019483	48.75638	0.0000
LOG(PIB)	0.050661	0.036944	1.371316	0.1776
R-squared	0.997186	Mean dependent var		12.97058
Adjusted R-squared	0.997052	S.D. dependent var		0.966555
S.E. of regression	0.052476	Akaike info criterion		-2.992586
Sum squared resid	0.115656	Schwarz criterion		-2.872142
Log likelihood	70.33318	F-statistic		7442.743
Durbin-Watson stat	1.382719	Prob(F-statistic)		0.000000

Parque de buses

Dependent Variable: LOG(PBUSES)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 18:16

Sample: 1975 2005

Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.276738	0.472758	2.700616	0.0116
LOG(PBUSES(-1))	0.660051	0.122602	5.383696	0.0000
LOG(PIB)	0.216560	0.079968	2.708085	0.0114
R-squared	0.983919	Mean dependent var		10.19721
Adjusted R-squared	0.982770	S.D. dependent var		0.305177
S.E. of regression	0.040058	Akaike info criterion		-3.505187
Sum squared resid	0.044931	Schwarz criterion		-3.366414
Log likelihood	57.33039	F-statistic		856.5734
Durbin-Watson stat	1.571901	Prob(F-statistic)		0.000000

Parque Camiones

Dependent Variable: LOG(PCAMIONES)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 18:20

Sample: 1970 2005

Included observations: 36

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.144616	0.519557	2.203060	0.0347
LOG(PCAMIONES(-1))	0.794789	0.089909	8.839967	0.0000
LOG(PIB)	0.117972	0.060138	1.961677	0.0583
R-squared	0.953836	Mean dependent var		11.28754
Adjusted R-squared	0.951038	S.D. dependent var		0.315199
S.E. of regression	0.069745	Akaike info criterion		-2.408284
Sum squared resid	0.160525	Schwarz criterion		-2.276324
Log likelihood	46.34911	F-statistic		340.9216
Durbin-Watson stat	1.386886	Prob(F-statistic)		0.000000

Gasolina

Dependent Variable: LOG(GASOLINA)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 18:23

Sample (adjusted): 1975 2005

Included observations: 31 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.942982	0.604518	8.176738	0.0000
LOG(PVP)	-0.500355	0.154075	-3.247482	0.0030
LOG(PVL)	0.925968	0.125727	7.364932	0.0000
R-squared	0.955586	Mean dependent var		9.700036
Adjusted R-squared	0.952413	S.D. dependent var		0.350587
S.E. of regression	0.076478	Akaike info criterion		-2.211849
Sum squared resid	0.163771	Schwarz criterion		-2.073076
Log likelihood	37.28366	F-statistic		301.2128
Durbin-Watson stat	0.713890	Prob(F-statistic)		0.000000

Diesel

Dependent Variable: LOG(DIESEL)

Method: Least Squares

Date: 06/14/08 Time: 18:12

Sample: 1986 2005

Included observations: 20

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-10.70058	1.643310	-6.511598	0.0000
LOG(PBUSES)	1.366324	0.582654	2.344999	0.0314
LOG(PCAMIONES)	0.548905	0.465540	1.179071	0.2546
R-squared	0.914582	Mean dependent var		9.797449
Adjusted R-squared	0.904533	S.D. dependent var		0.403836
S.E. of regression	0.124776	Akaike info criterion		-1.187112
Sum squared resid	0.264674	Schwarz criterion		-1.037752
Log likelihood	14.87112	F-statistic		91.01120
Durbin-Watson stat	0.486554	Prob(F-statistic)		0.000000

Datos utilizados en sector transporte

Años	Diesel [Tcal]	Gasolina [Tcal]	Pasajeros	Livianos	Buses	Camiones
1973	3.195	13.409	225.247		15.479	
1974	3.470	12.214	235.335		15.682	
1975	3.644	9.909	255.717	81.158	15.563	71.987
1976	3.992	9.754	262.817	89.600	16.413	65.469
1977	4.139	10.432	294.594	94.211	16.563	70.377
1978	5.072	11.299	335.783	98.475	17.135	75.562
1979	6.660	11.605	385.979	108.719	20.117	74.500
1980	7.823	12.103	448.492	125.975	20.734	72.850
1981	8.507	12.847	573.836	166.129	22.186	70.889
1982	7.629	12.685	605.590	171.148	21.173	64.152
1983	8.243	12.171	618.731	166.190	20.037	62.586
1984	8.313	11.849	630.418	159.052	20.520	55.799
1985	8.710	11.178	624.884	186.396	21.491	49.975
1986	8.864	11.634	590.719	166.421	21.559	54.071
1987	9.917	12.242	618.496	176.299	23.487	68.148
1988	11.349	13.663	669.097	199.557	24.748	72.714
1989	11.946	14.894	660.171	228.840	25.532	75.651
1990	12.080	15.391	710.417	252.118	28.730	80.462
1991	11.936	15.926	765.519	281.664	30.369	86.853
1992	12.774	17.557	826.794	315.605	30.331	91.584
1993	15.006	18.523	896.473	347.727	30.981	100.761
1994	17.030	20.802	914.268	364.162	32.516	99.227
1995	18.881	22.498	1.026.008	399.938	33.970	108.065
1996	20.637	24.090	1.121.179	441.845	34.734	110.246
1997	21.790	25.052	1.175.785	469.524	34.398	116.435
1998	23.206	26.067	1.236.852	498.735	36.627	120.351
1999	24.982	26.592	1.323.808	531.220	35.437	120.839
2000	26.433	26.659	1.320.519	529.900	35.323	115.581
2001	25.430	24.384	1.351.896	541.100	36.815	115.084
2002	27.432	24.239	1.373.121	556.704	37.697	118.814
2003	28.047	23.541	1.402.766	562.238	39.209	116.100
2004	27.831	23.587	1.488.655	572.318	41.091	122.058
2005	31.646	23.538	1.595.128	598.230	43.413	125.894

ANEXO 5: DATOS DE PROYECCIONES

Consumo total por sector económico Teracalorías

	Cobre	Cemento	Papel y Celulosa	Industrias y Minas Varias	Transporte	CPR	Otros Sectores(a)	Total Balance
2000	18.408	2.381	12.912	29.179	69.835	54.257	11.330	198.302
2001	18.936	2.423	10.569	32.453	67.320	56.282	10.908	198.891
2002	20.904	2.187	12.432	28.664	68.996	56.190	11.485	200.858
2003	21.811	2.912	9.588	30.327	70.365	56.172	10.946	202.121
2004	20.818	3.188	11.748	32.251	73.459	58.869	10.532	210.865
2005	22.709	2.846	13.377	29.304	80.206	58.972	10.399	217.812
2006	23.635	2.897	16.617	32.949	81.526	60.034	9.531	227.188
2007	21.568	2.692	14.503	38.158	95.300	65.298	12.300	249.819
2008	21.970	2.776	15.136	40.424	103.025	67.920	12.622	263.873
2009	22.691	2.865	15.798	42.833	111.280	70.677	12.952	279.097
2010	22.910	2.959	16.492	45.396	120.131	73.578	13.291	294.757
2011	24.564	3.058	17.219	48.123	129.643	76.629	13.639	312.875
2012	25.003	3.162	17.982	51.023	139.810	79.841	13.995	330.816
2013	24.553	3.271	18.781	54.110	150.701	83.223	14.362	349.001
2014	24.853	3.387	19.620	57.395	162.384	86.785	14.737	369.160
2015	25.299	3.509	20.499	60.891	174.930	90.538	15.123	390.787
2016	26.360	3.612	21.154	63.863	186.931	93.700	15.440	411.061
2017	27.006	3.720	21.837	66.989	199.402	97.000	15.764	431.718
2018	27.678	3.833	22.548	70.276	212.451	100.444	16.094	453.324
2019	28.378	3.951	23.287	73.734	225.609	104.039	16.432	475.429
2020	29.106	4.074	24.058	77.370	239.551	107.792	16.776	498.727
2021	30.251	4.204	24.860	81.194	256.156	111.711	17.128	525.504
2022	31.040	4.339	25.695	85.217	272.459	115.805	17.487	552.043
2023	31.861	4.482	26.565	89.449	289.724	120.082	17.854	580.016
2024	32.909	4.631	27.471	93.901	308.038	124.551	18.229	609.729
2025	33.993	4.787	28.414	98.585	327.492	129.222	18.611	641.105
2026	34.918	4.952	29.398	103.514	348.178	134.105	19.001	674.065
2027	35.881	5.124	30.422	108.699	370.203	139.211	19.400	708.940
2028	36.883	5.305	31.489	114.156	393.676	144.552	19.807	745.868
2029	37.925	5.496	32.601	119.899	418.715	150.138	20.222	784.995
2030	39.009	5.696	33.760	125.942	445.444	155.984	20.646	826.481

(a) "Otros sectores" esta compuesto por los sectores de salitre, hierro, siderurgica, petroquímica, azucar y pesca

Consumo total por combustibles proyectado Teracalorías

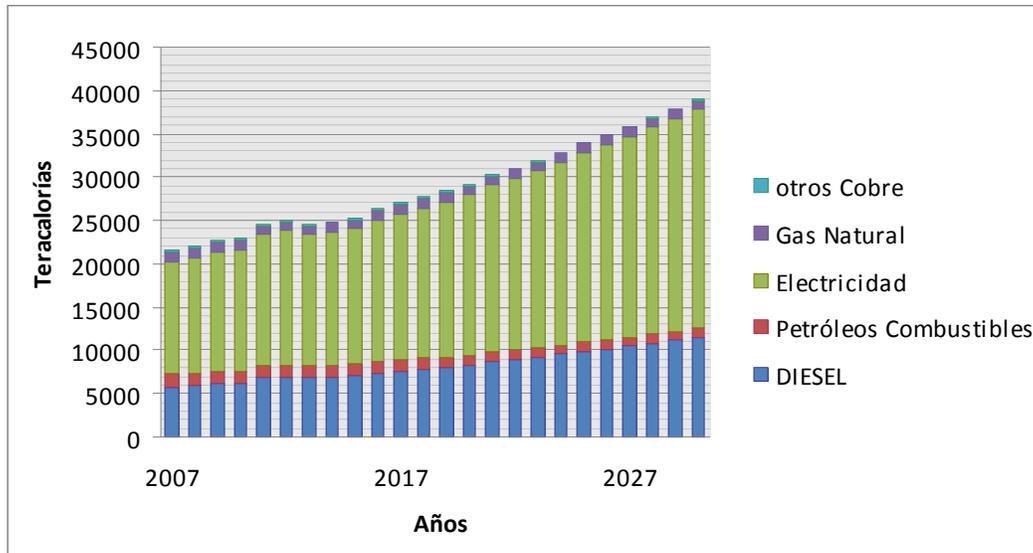
Años	Diesel	Petróleo Combustibles	Electricidad	Carbón	Leña	Gas Licuado	Gasolina	Gas Natural	Coke y alquitran	Gas corriente	Kerosene aviación	Otros	Total Balance
2000	42.184	14.315	31.474	5.202	39.229	12.518	26.659	10.878	2.416	1.392	6.009	6.026	198.302
2001	43.708	12.644	33.866	6.848	37.562	11.978	24.384	12.445	2.505	1.391	6.790	4.770	198.891
2002	45.323	11.721	35.089	5.369	38.761	11.613	24.239	13.624	2.476	1.240	6.798	4.605	200.858
2003	45.494	14.796	38.115	4.595	36.449	11.630	23.541	14.232	2.984	1.336	5.814	3.135	202.121
2004	48.528	14.738	40.347	5.246	38.547	11.813	23.587	15.515	1.997	1.047	6.384	3.117	210.864
2005	51.870	17.461	41.318	4.453	40.277	11.513	23.538	13.999	2.680	1.045	6.844	2.814	217.812
2006	55.015	20.015	43.555	4.485	42.260	11.707	23.230	12.960	2.659	1.167	7.290	2.844	227.188
2007	64.839	18.898	45.218	5.133	43.783	13.695	25.983	12.960	3.091	1.066	10.465	4.688	249.819
2008	69.793	20.862	47.767	5.148	45.248	14.523	27.205	12.960	3.195	1.091	11.384	4.696	263.873
2009	75.220	23.020	50.704	5.165	46.766	15.390	28.370	12.960	3.300	1.116	12.384	4.701	279.097
2010	80.883	25.432	53.434	5.185	48.340	16.298	29.495	12.960	3.410	1.141	13.471	4.706	294.757
2011	87.422	28.051	57.369	5.206	49.972	17.249	30.599	12.960	3.519	1.166	14.654	4.707	312.875
2012	93.914	30.996	60.637	5.231	51.664	18.246	31.692	12.960	3.633	1.192	15.941	4.709	330.816
2013	100.489	34.287	63.487	5.258	53.420	19.290	32.787	12.960	3.750	1.219	17.341	4.712	349.001
2014	107.706	37.910	67.091	5.288	55.240	20.384	33.890	12.960	3.870	1.245	18.864	4.711	369.160
2015	115.382	41.924	71.038	5.320	57.129	21.531	35.011	12.960	3.991	1.272	20.520	4.709	390.787
2016	123.090	45.396	74.679	5.347	58.903	22.493	36.153	12.960	4.088	1.292	21.957	4.703	411.061
2017	130.865	49.195	78.176	5.375	60.740	23.493	37.222	12.960	4.187	1.313	23.493	4.698	431.718
2018	138.898	53.331	81.861	5.405	62.643	24.531	38.242	12.960	4.288	1.335	25.138	4.691	453.324
2019	146.664	57.837	85.746	5.437	64.613	25.610	39.231	12.960	4.392	1.356	26.898	4.684	475.429
2020	154.786	62.747	89.841	5.471	66.654	26.732	40.204	12.960	4.497	1.377	28.781	4.677	498.727
2021	165.213	68.090	94.431	5.507	68.769	27.898	41.171	12.960	4.603	1.399	30.795	4.669	525.504
2022	174.675	73.925	98.982	5.544	70.961	29.110	42.141	12.960	4.712	1.421	32.951	4.660	552.043
2023	184.503	80.290	103.782	5.583	73.232	30.370	43.122	12.960	4.823	1.443	35.258	4.651	580.016
2024	194.787	87.229	108.979	5.623	75.586	31.680	44.117	12.960	4.936	1.465	37.726	4.641	609.729
2025	205.488	94.801	114.453	5.665	78.026	33.043	45.132	12.960	5.051	1.487	40.367	4.631	641.105
2026	216.565	103.069	120.083	5.710	80.557	34.460	46.170	12.960	5.168	1.510	43.192	4.620	674.065
2027	228.113	112.096	126.022	5.755	83.180	35.935	47.234	12.960	5.287	1.532	46.216	4.609	708.940
2028	240.158	121.951	132.287	5.803	85.902	37.469	48.325	12.960	5.408	1.555	49.451	4.597	745.868
2029	252.726	132.715	138.897	5.852	88.724	39.066	49.447	12.960	5.532	1.578	52.913	4.585	784.995
2030	265.847	144.472	145.871	5.903	91.652	40.728	50.599	12.960	5.658	1.601	56.617	4.573	826.481

Consumo en el sector cobre (Proyecciones en gris)
Teracalorías

Años	Diesel	Petróleos Combustibles	Electricidad	Gas Natural	otros Cobre(a)	Total
2000	4.636	2.475	10.543	538	216	18.408
2001	5.300	1.558	11.059	792	227	18.936
2002	5.759	2.325	11.687	817	316	20.904
2003	5.096	1.559	13.747	1.104	305	21.811
2004	4.700	901	13.500	1.442	275	20.818
2005	6.430	759	13.639	1.678	202	22.709
2006	7.501	995	13.917	1.066	156	23.635
2007	5.849	1.445	13.013	1.066	195	21.568
2008	5.975	1.425	13.314	1.066	191	21.970
2009	6.204	1.394	13.843	1.066	184	22.691
2010	6.281	1.387	13.995	1.066	182	22.910
2011	6.829	1.332	15.169	1.066	169	24.564
2012	6.974	1.318	15.480	1.066	166	25.003
2013	6.825	1.332	15.161	1.066	169	24.553
2014	6.926	1.323	15.371	1.066	167	24.853
2015	7.076	1.311	15.682	1.066	164	25.299
2016	7.417	1.275	16.445	1.066	156	26.360
2017	7.628	1.256	16.903	1.066	152	27.006
2018	7.847	1.237	17.379	1.066	148	27.678
2019	8.075	1.218	17.874	1.066	145	28.378
2020	8.312	1.199	18.388	1.066	141	29.106
2021	8.684	1.171	19.195	1.066	135	30.251
2022	8.940	1.152	19.750	1.066	132	31.040
2023	9.207	1.133	20.327	1.066	128	31.861
2024	9.546	1.110	21.063	1.066	124	32.909
2025	9.897	1.088	21.822	1.066	120	33.993
2026	10.197	1.069	22.469	1.066	117	34.918
2027	10.509	1.051	23.142	1.066	113	35.881
2028	10.833	1.032	23.842	1.066	110	36.883
2029	11.170	1.014	24.569	1.066	107	37.925
2030	11.520	995	25.324	1.066	104	39.009

(a) Los otros energéticos consumidos por Cobre son el Kerosene, Gas licuado, Nafta, Carbón y Coke.

Consumos Cobre



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 2.1% del consumo total de energía del subsector Cobre entre los años 2006 y 2030.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

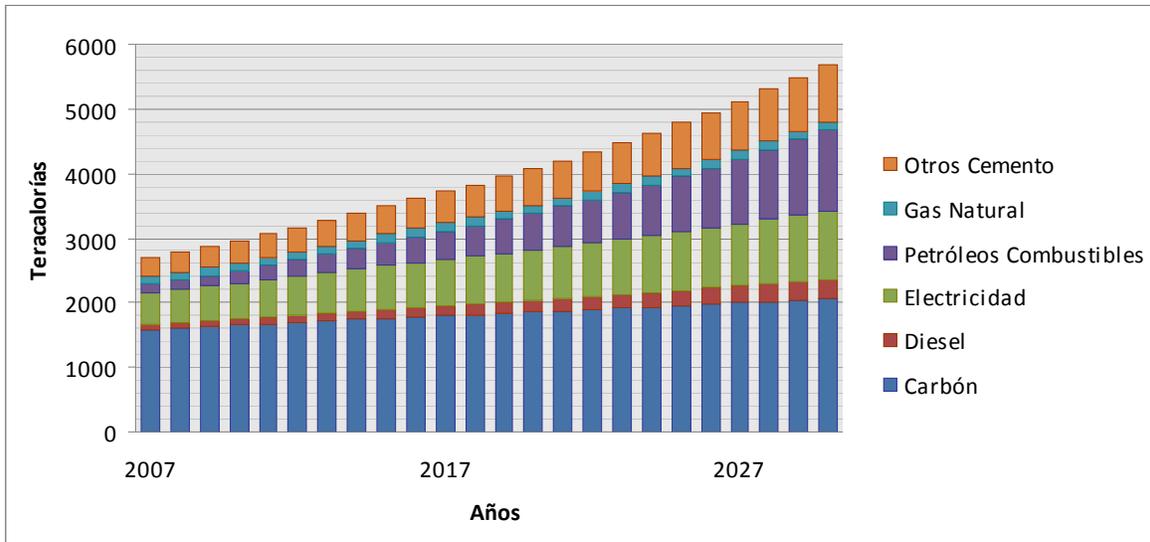
- El consumo de electricidad presenta un incremento de un 2,9% promedio anual.
- El consumo de diesel presenta un incremento promedio anual de un 2,9%.
- El consumo petróleo combustibles presenta una la tasa de crecimiento de -0,9%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- El consumo de otros energéticos presenta una tasa de disminución anual del consumo de -2,6%.

Consumo en el sector cemento (Proyecciones en gris)
Teracalorias

Años	Carbón	Diesel	Electricidad	Petróleos Combustibles	Gas Natural	Otros Cemento (a)	Total
2000	1.668	116	343	232	8	14	2.381
2001	1.442	125	364	72	373	47	2.423
2002	1.289	87	397	35	355	24	2.187
2003	1.618	40	439	22	510	283	2.912
2004	1.722	55	414	234	395	369	3.188
2005	1.393	69	423	243	293	425	2.846
2006	1.656	58	510	304	126	243	2.897
2007	1.588	90	484	124	126	280	2.692
2008	1.609	96	504	146	126	296	2.776
2009	1.630	102	524	170	126	314	2.865
2010	1.651	108	545	196	126	332	2.959
2011	1.673	115	567	225	126	352	3.058
2012	1.695	122	590	256	126	373	3.162
2013	1.717	129	613	290	126	395	3.271
2014	1.740	137	638	327	126	418	3.387
2015	1.763	146	664	368	126	443	3.509
2016	1.781	153	685	403	126	464	3.612
2017	1.800	160	707	440	126	486	3.720
2018	1.819	168	730	480	126	509	3.833
2019	1.838	177	753	523	126	533	3.951
2020	1.858	185	777	569	126	559	4.074
2021	1.877	195	802	618	126	585	4.204
2022	1.897	204	828	671	126	613	4.339
2023	1.917	214	855	727	126	642	4.482
2024	1.937	225	882	788	126	672	4.631
2025	1.958	236	911	852	126	704	4.787
2026	1.978	248	940	922	126	738	4.952
2027	1.999	260	970	996	126	773	5.124
2028	2.020	273	1.002	1.075	126	809	5.305
2029	2.041	286	1.034	1.161	126	848	5.496
2030	2.063	300	1.067	1.252	126	888	5.696

(a) Los otros energéticos consumidos por la industria del cemento son Gas licuado y Coke,

Consumos Cemento



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 2.9% del consumo total de energía del subsector Cemento entre los años 2006 y 2030.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

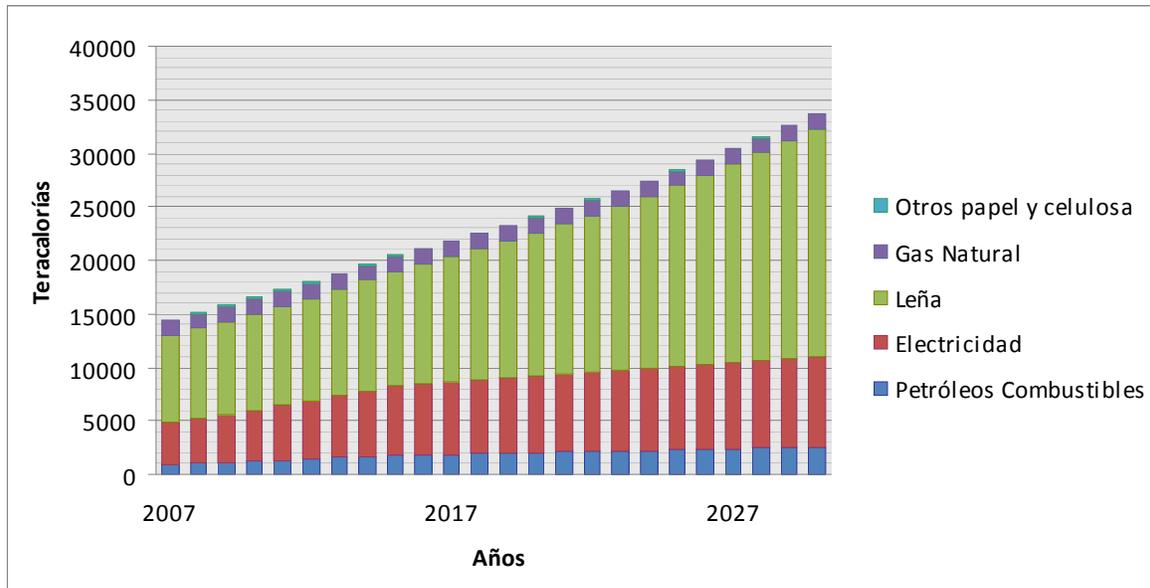
- El consumo de electricidad presenta un incremento de un 3,8% promedio anual.
- El consumo de carbón presenta un incremento de un 1,2% promedio anual.
- El consumo de diesel presenta un incremento promedio anual de un 5,8%.
- El consumo petróleo combustibles presenta una la tasa de crecimiento de 8%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- El consumo de otros energéticos presenta un crecimiento anual del 5,5%.

Consumo en el sector papel y celulosa (Proyecciones en gris)
Teracalorías

Años	Petróleos Combustibles	Electricidad	Leña	Gas Natural	Otros papel y celulosa (a)	Total
2000	1.625	2.739	7.917	325	306	12.912
2001	1.438	3.134	5.630	325	42	10.569
2002	1.519	3.580	6.313	925	95	12.432
2003	1.245	3.322	3.757	1.144	120	9.588
2004	1.001	3.477	5.707	1.467	97	11.748
2005	1.338	3.742	7.364	830	103	13.377
2006	1.605	4.282	9.269	1.382	78	16.617
2007	965	3.945	8.108	1.382	103	14.503
2008	1.054	4.202	8.392	1.382	105	15.136
2009	1.145	4.476	8.686	1.382	108	15.798
2010	1.240	4.768	8.991	1.382	110	16.492
2011	1.339	5.079	9.306	1.382	113	17.219
2012	1.441	5.410	9.633	1.382	115	17.982
2013	1.547	5.763	9.970	1.382	118	18.781
2014	1.658	6.139	10.320	1.382	120	19.620
2015	1.772	6.539	10.682	1.382	123	20.499
2016	1.820	6.650	11.187	1.382	115	21.154
2017	1.870	6.762	11.715	1.382	108	21.837
2018	1.920	6.875	12.268	1.382	102	22.548
2019	1.971	6.991	12.848	1.382	95	23.287
2020	2.022	7.109	13.454	1.382	90	24.058
2021	2.074	7.229	14.090	1.382	84	24.860
2022	2.128	7.351	14.755	1.382	79	25.695
2023	2.182	7.474	15.452	1.382	74	26.565
2024	2.237	7.600	16.182	1.382	69	27.471
2025	2.292	7.728	16.946	1.382	65	28.414
2026	2.349	7.859	17.747	1.382	61	29.398
2027	2.406	7.991	18.585	1.382	57	30.422
2028	2.464	8.126	19.463	1.382	54	31.489
2029	2.524	8.262	20.382	1.382	51	32.601
2030	2.584	8.402	21.344	1.382	47	33.760

(a) Los otros energéticos consumidos por el sector papel y celulosa son Diesel y Gas licuado

Consumos Papel y Celulosa



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 3% del consumo total de energía del subsector Papel y celulosa entre los años 2006 y 2030.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

- El consumo de electricidad presenta un incremento de un 3,3% promedio anual.
- El consumo petróleo combustibles presenta una la tasa de crecimiento de 2,3%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- El consumo de leña presenta un incremento de un 4,4% promedio anual.
- El consumo de otros energéticos presenta una tasa de disminución anual del consumo de -2,1%.

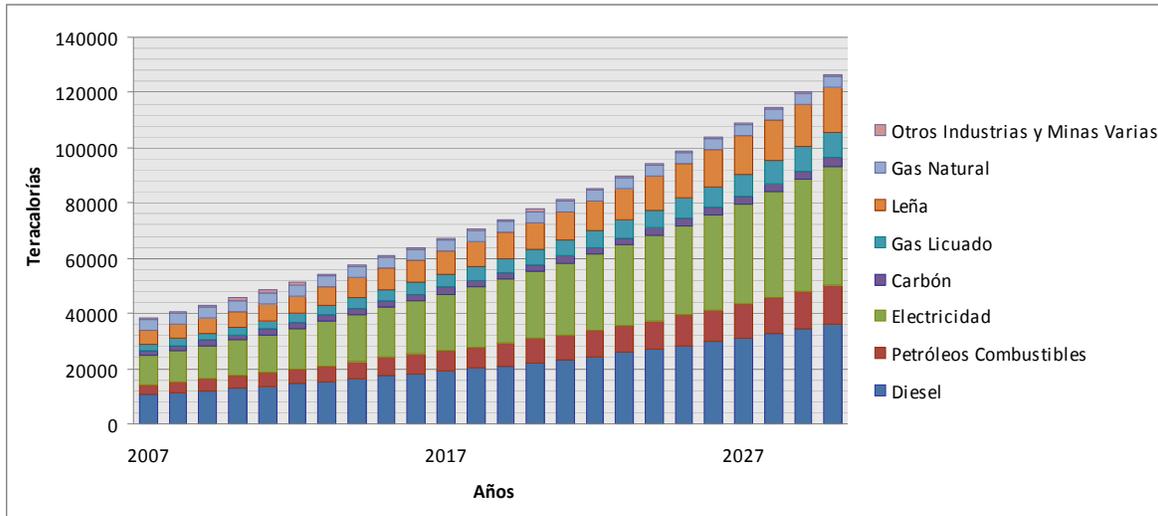
Consumo en el sector industrias y minas varias (Proyecciones en gris)

Teracalorias

Años	Diesel	Petróleos Combustibles	Electricidad	Carbón	Gas Licuado	Leña	Gas Natural	Otros Industrias y Minas Varias (a)	Total
2000	5.832	2.812	6.691	1.493	1.655	3.378	6.388	930	29.179
2001	7.884	2.648	6.997	3.665	1.178	3.445	5.902	734	32.453
2002	6.697	1.304	6.665	2.280	1.511	3.818	5.598	791	28.664
2003	7.969	2.632	7.081	1.600	1.365	3.919	5.220	541	30.327
2004	9.439	1.479	8.398	1.759	1.372	3.840	5.767	198	32.251
2005	7.703	1.952	8.174	1.413	1.566	3.846	4.495	154	29.304
2006	10.369	2.242	8.845	1.346	1.693	3.779	3.956	720	32.949
2007	10.447	3.697	10.366	2.022	2.210	4.810	3.956	652	38.158
2008	11.103	4.036	11.129	2.065	2.375	5.105	3.956	654	40.424
2009	11.800	4.391	11.949	2.110	2.553	5.419	3.956	656	42.833
2010	12.541	4.761	12.830	2.155	2.744	5.751	3.956	658	45.396
2011	13.329	5.148	13.775	2.201	2.950	6.104	3.956	661	48.123
2012	14.166	5.552	14.790	2.249	3.171	6.478	3.956	663	51.023
2013	15.056	5.974	15.879	2.297	3.408	6.876	3.956	665	54.110
2014	16.001	6.415	17.049	2.346	3.663	7.298	3.956	667	57.395
2015	17.006	6.875	18.305	2.397	3.938	7.745	3.956	669	60.891
2016	17.859	7.259	19.382	2.438	4.173	8.125	3.956	671	63.863
2017	18.756	7.658	20.521	2.480	4.422	8.523	3.956	673	66.989
2018	19.697	8.070	21.728	2.523	4.687	8.941	3.956	675	70.276
2019	20.685	8.497	23.006	2.566	4.967	9.380	3.956	676	73.734
2020	21.723	8.940	24.359	2.611	5.264	9.840	3.956	678	77.370
2021	22.813	9.398	25.792	2.656	5.578	10.322	3.956	680	81.194
2022	23.958	9.872	27.308	2.702	5.912	10.828	3.956	682	85.217
2023	25.160	10.363	28.914	2.748	6.265	11.359	3.956	683	89.449
2024	26.423	10.872	30.615	2.796	6.639	11.916	3.956	685	93.901
2025	27.749	11.398	32.415	2.844	7.036	12.500	3.956	687	98.585
2026	29.141	11.944	34.321	2.893	7.457	13.113	3.956	689	103.514
2027	30.604	12.509	36.339	2.943	7.903	13.756	3.956	691	108.699
2028	32.140	13.093	38.477	2.994	8.375	14.430	3.956	692	114.156
2029	33.752	13.699	40.739	3.045	8.875	15.138	3.956	694	119.899
2030	35.446	14.326	43.135	3.098	9.406	15.880	3.956	696	125.942

(a) Los otros energéticos de Industrias y Minas Varias son Kerosene, Nafta, Coke y Metanol

Consumos Industrias y Minas Varias



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 5,8% del consumo total de energía del subsector Papel y celulosa entre los años 2006 y 2030.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

- El consumo de electricidad presenta un incremento de un 6,8% promedio anual.
- El consumo de diesel presenta una la tasa de crecimiento de 5,3%.
- El consumo de gas licuado presenta una la tasa de crecimiento de 6,5%.
- El consumo de carbón presenta una la tasa de crecimiento de 1,9%.
- El consumo de leña presenta un incremento de un 5,3% promedio anual.
- El consumo petróleos combustibles presenta una la tasa de crecimiento de 3,9%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- El consumo de otros energéticos presenta una crecimiento anual del 0,3%.

Transporte marítimo (Proyecciones en gris)
Teracalorias

Año	Petroleo combustible	Diesel	Total
2000	7.171	3.036	10.207
2001	6.928	3.237	10.165
2002	6.538	3.293	9.831
2003	9.338	2.937	12.275
2004	11.124	3.672	14.796
2005	13.169	3.706	16.875
2006	14.870	3.490	18.360
2007	12.668	4.968	17.636
2008	14.201	5.212	19.413
2009	15.920	5.468	21.388
2010	17.847	5.736	23.583
2011	20.007	6.018	26.025
2012	22.429	6.314	28.743
2013	25.144	6.624	31.768
2014	28.187	6.949	35.136
2015	31.599	7.291	38.890
2016	34.639	7.577	42.216
2017	37.971	7.875	45.846
2018	41.623	8.184	49.807
2019	45.627	8.506	54.133
2020	50.017	8.840	58.857
2021	54.828	9.188	64.016
2022	60.103	9.549	69.652
2023	65.884	9.924	75.808
2024	72.222	10.314	82.536
2025	79.170	10.720	89.890
2026	86.786	11.141	97.927
2027	95.134	11.579	106.713
2028	104.286	12.034	116.320
2029	114.318	12.507	126.825
2030	125.315	12.998	138.313

Transporte ferroviario (Proyecciones en gris)

Teracalorias

Año	Diesel	Electricidad	Total
2000	194	76	270
2001	186	82	268
2002	201	71	272
2003	202	73	275
2004	190	71	261
2005	182	63	245
2006	197	61	258
2007	155	68	223
2008	151	66	217
2009	148	65	213
2010	145	63	208
2011	142	62	204
2012	139	60	199
2013	136	59	195
2014	134	58	192
2015	131	56	187
2016	129	55	184
2017	127	54	181
2018	125	53	178
2019	123	52	175
2020	120	51	171
2021	118	50	168
2022	117	49	166
2023	115	48	163
2024	113	47	160
2025	111	46	157
2026	109	46	155
2027	107	45	152
2028	105	44	149
2029	104	43	147
2030	102	42	144

Transporte aéreo (Proyecciones en gris)

Teracalorias

Año	Kerosene aviacion
2000	6.009
2001	6.790
2002	6.798
2003	5.814
2004	6.384
2005	6.844
2006	7.290
2007	10.465
2008	11.384
2009	12.384
2010	13.471
2011	14.654
2012	15.941
2013	17.341
2014	18.864
2015	20.520
2016	21.957
2017	23.493
2018	25.138
2019	26.898
2020	28.781
2021	30.795
2022	32.951
2023	35.258
2024	37.726
2025	40.367
2026	43.192
2027	46.216
2028	49.451
2029	52.913
2030	56.617

Transporte terrestre, estimación econométrica de diesel. (Proyecciones en gris)

Teracalorias

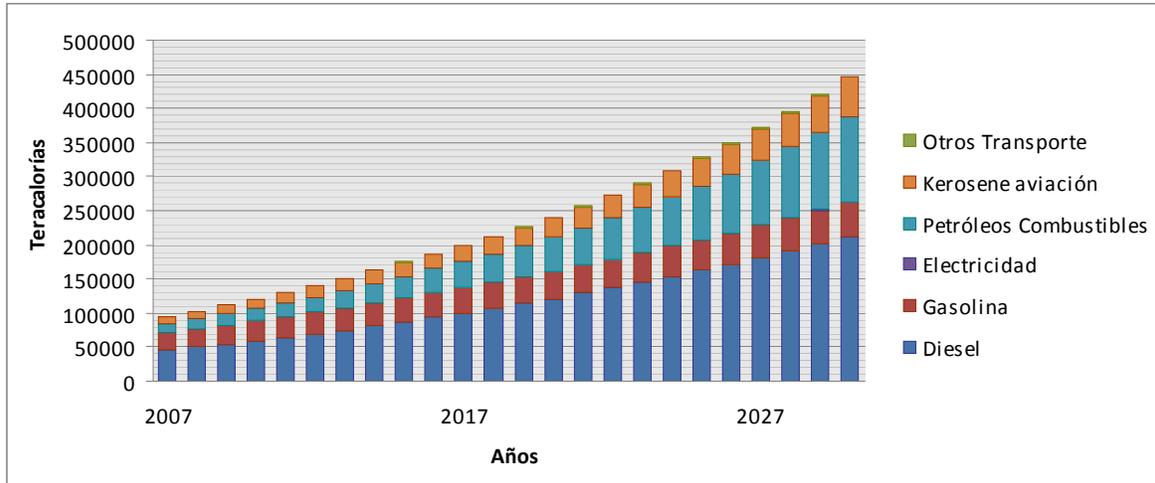
Años	Diesel	Gasolina	Otros de transporte (a)	Total
2000	26.433	26.659	257	53.349
2001	25.430	24.384	283	50.097
2002	27.432	24.239	424	52.095
2003	28.047	23.541	413	52.001
2004	27.831	23.587	601	52.019
2005	31.646	23.538	1.059	56.243
2006	31.649	23.230	739	55.618
2007	34.459	25.983	217	60.659
2008	36.487	27.205	218	63.910
2009	38.651	28.370	218	67.239
2010	40.952	29.495	218	70.665
2011	43.396	30.599	217	74.212
2012	45.988	31.692	216	77.896
2013	48.736	32.787	214	81.737
2014	51.648	33.890	213	85.751
2015	54.733	35.011	211	89.955
2016	57.802	36.153	210	94.165
2017	60.898	37.222	209	98.329
2018	64.054	38.242	208	102.504
2019	67.297	39.231	207	106.735
2020	70.647	40.204	207	111.058
2021	74.123	41.171	206	115.500
2022	77.738	42.141	205	120.084
2023	81.506	43.122	203	124.831
2024	85.439	44.117	202	129.758
2025	89.548	45.132	201	134.881
2026	93.844	46.170	199	140.213
2027	98.339	47.234	198	145.771
2028	103.042	48.325	196	151.563
2029	107.965	49.447	195	157.607
2030	113.119	50.599	193	163.911

Los otros energéticos del sector transporte terrestre son Petróleo combustible, Kerosene de aviación, Kerosene, Gas licuado Electricidad y Gas natural

Transporte terrestre: Estimación de uso final de diesel
 Teracalorias

	Vehículos Livianos	Vehículos Comerciales	Total
2005	257	3.383	3.640
2006	425	4.444	4.869
2007	694	5.625	6.319
2008	1.079	7.020	8.099
2009	1.514	8.542	10.056
2010	2.000	10.203	12.203
2011	2.541	12.007	14.548
2012	3.130	13.901	17.031
2013	3.767	15.893	19.660
2014	4.455	17.987	22.442
2015	5.191	20.188	25.379
2016	5.979	22.432	28.411
2017	6.824	24.729	31.553
2018	7.732	27.091	34.823
2019	8.708	28.959	37.667
2020	9.755	30.929	40.684
2021	11.041	34.635	45.676
2022	12.349	37.258	49.607
2023	13.683	39.980	53.663
2024	15.048	42.809	57.857
2025	16.448	45.749	62.197
2026	17.887	48.803	66.690
2027	19.369	51.983	71.352
2028	20.896	55.296	76.192
2029	22.473	58.751	81.224
2030	24.103	62.355	86.458

Consumos Sector Transporte



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 7.3% del consumo total de energía del sector Transporte entre los años 2006 y 2030

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

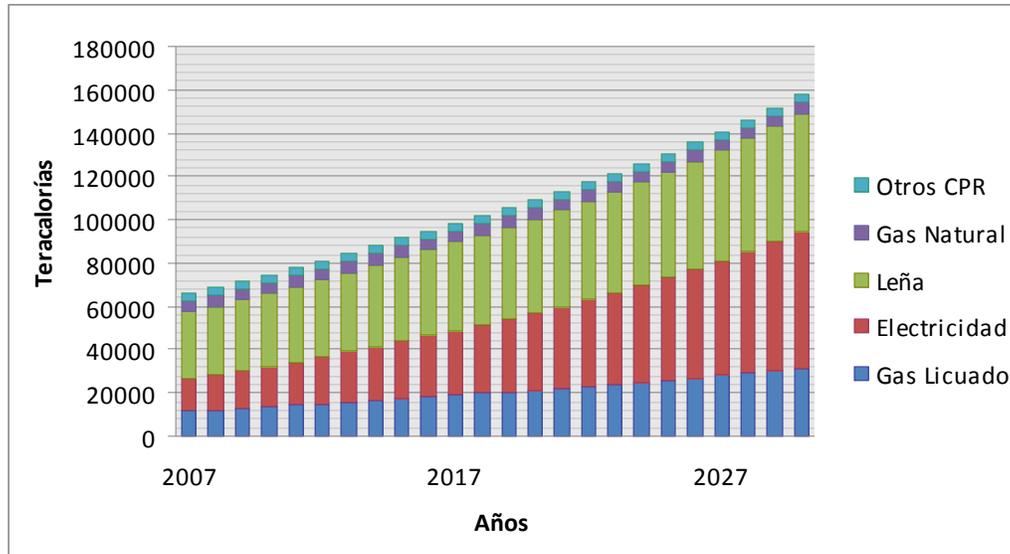
- El consumo de electricidad presenta una caída de un -1,5% promedio anual.
- El consumo de diesel presenta una la tasa de crecimiento de 7,8%.
- El consumo de gasolina presenta una la tasa de crecimiento de 3,3%.
- El consumo petróleos combustibles presenta una la tasa de crecimiento de 9,3%.
- El consumo de Kerosen de aviación presenta una la tasa de crecimiento de 8,9%.
- El consumo de otros energéticos presenta caen anualmente un -5,4%.

CPR (Proyecciones en gris)
Teracalorias

Año	Gas Licuado	Electricidad	Leña	Gas Natural	Otros CPR (a)	Total
2000	10.863	9.195	27.934	3.328	2.937	54.257
2001	10.800	10.271	28.487	4.189	2.535	56.282
2002	10.102	10.724	28.630	4.129	2.605	56.190
2003	10.265	11.313	28.773	4.140	1.681	56.172
2004	10.441	12.480	29.000	4.357	2.591	58.869
2005	9.947	13.216	29.067	4.695	2.046	58.972
2006	10.014	13.764	29.212	5.041	2.003	60.034
2007	15.075	15.108	30.866	5.041	2.798	68.888
2008	15.075	16.225	31.751	5.041	2.756	70.847
2009	15.075	17.424	32.662	5.041	2.714	72.915
2010	15.075	18.711	33.598	5.041	2.673	75.099
2011	15.075	20.094	34.562	5.041	2.633	77.405
2012	15.075	21.579	35.554	5.041	2.593	79.841
2013	15.882	23.173	36.573	5.041	2.554	83.223
2014	16.721	24.885	37.622	5.041	2.515	86.785
2015	17.593	26.724	38.702	5.041	2.477	90.538
2016	18.320	28.301	39.591	5.041	2.447	93.700
2017	19.070	29.970	40.502	5.041	2.417	97.000
2018	19.845	31.738	41.433	5.041	2.388	100.444
2019	20.644	33.610	42.386	5.041	2.359	104.039
2020	21.468	35.592	43.360	5.041	2.330	107.792
2021	22.320	37.691	44.357	5.041	2.302	111.711
2022	23.198	39.914	45.377	5.041	2.274	115.805
2023	24.105	42.269	46.421	5.041	2.246	120.082
2024	25.041	44.762	47.488	5.041	2.219	124.551
2025	26.007	47.402	48.580	5.041	2.192	129.222
2026	27.004	50.198	49.697	5.041	2.166	134.105
2027	28.032	53.159	50.840	5.041	2.139	139.211
2028	29.094	56.294	52.009	5.041	2.113	144.552
2029	30.190	59.615	53.205	5.041	2.088	150.138
2030	31.322	63.131	54.428	5.041	2.062	155.984

(a) Los otros energéticos considerados son Petróleo Combustibles, Kerosene, Diesel, Carbón y Gas Corriente

Consumos CPR



Fuente: Elaboración Propia

En general, los resultados muestran un incremento promedio anual de un 3,8% del consumo total de energía del sector CPR entre los años 2006 y 2030.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos por energético:

- El consumo de electricidad presenta un incremento de un 6,5% promedio anual.
- El consumo de gas licuado presenta una la tasa de crecimiento de 3,3%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- El consumo de leña presenta un incremento de un 2,5% promedio anual.
- El consumo de otros energéticos presenta una caída anual del 0,3%.

ANEXO 6: PROYECCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA SIC Y SING

Figura A13

Proyección demanda sistema SING

Año	Minería [GWh]	I y Minas varias [GWh]	CPR [GWh]	Total suma [GWh]	CPR [0/1]	IND [0/1]	fc histórico	fc proy	Dmedia [MW]	Dmax [MW]	Dmin [MW]
1990		210	284								
1991		241	300								
1992		274	329								
1993		308	360								
1994		344	396								
1995	3.691	382	428	4501	0,095	0,905	0,74484098	0,7429334	455,4	611,4	339,2
1996	4.474	421	484	5378	0,090	0,910	0,76102671	0,7640309	568,6	747,2	432,7
1997	5.461	461	522	6444	0,081	0,919	0,80861069	0,79981003	656,3	811,6	530,7
1998	6.194	504	578	7276	0,079	0,921	0,73983076	0,80593801	755,3	1.020,9	558,8
1999	7.145	547	613	8305	0,074	0,926	0,84756135	0,82895005	926,9	1.093,6	785,6
2000	7.883	593	656	9131	0,072	0,928	0,83110481	0,83679607	958,7	1.153,5	796,8
2001	8.348	639	734	9722	0,076	0,924	0,84074145	0,82176852	1026,4	1.220,8	862,9
2002	8.667	688	769	10124	0,076	0,924	0,79570482	0,82010966	1082,4	1.360,3	861,3
2003	10.239	738	813	11790	0,069	0,931	0,84489397	0,84810922	1196,4	1.416,0	1010,8
2004	10.106	789	900	11794	0,076	0,924	0,81906721	0,81880333	1283,2	1.566,6	1051,0
2005	10.328	842	955	12125	0,079	0,921	0,842571	0,80875861	1319,6	1.566,2	1111,9
2006	10.243	1066	997	12306	0,081	0,919	0,81934319	0,7996887	1373,2	1.676,0	1125,1
2007	9.344	1119	1097	11561	0,095	0,905		0,74390641	1319,7	1.774,0	981,7
2008	9.654	1175	1181	12010	0,098	0,902		0,73012507	1371,0	1.877,7	1001,0
2009	10.185	1234	1271	12690	0,100	0,900		0,72277269	1448,7	2.004,3	1047,1
2010	9.719	1296	1368	12382	0,110	0,890		0,72	1413,5	1.963,2	1017,7
2011	10.259	1360	1472	13091	0,112	0,888		0,72	1494,4	2.075,6	1076,0
2012	10.376	1428	1584	13388	0,118	0,882		0,72	1528,3	2.122,7	1100,4
2013	9.697	1500	1704	12901	0,132	0,868		0,72	1472,8	2.045,5	1060,4
2014	9.832	1575	1834	13240	0,138	0,862		0,72	1511,4	2.099,2	1088,2
2015	10.031	1653	1973	13657	0,144	0,856		0,72	1559,0	2.165,3	1122,5
2016	10.519	1720	2092	14331	0,146	0,854		0,72	1635,9	2.272,1	1177,9
2017	10.812	1784	2219	14814	0,150	0,850		0,72	1691,1	2.348,8	1217,6
2018	11.116	1850	2353	15320	0,154	0,846		0,72	1748,8	2.428,9	1259,2
2019	11.433	1919	2496	15847	0,157	0,843			1809,1	2.512,6	1302,5
2020	11.762	1990	2647	16399	0,161	0,839			1872,0	2.600,0	1347,8
2021	12.278	2064	2803	17145	0,163	0,837		0,72	1957,2	2.718,3	1409,2
2022	12.633	2141	2968	17742	0,167	0,833		0,72	2025,4	2.813,0	1458,3
2023	13.002	2221	3143	18366	0,171	0,829		0,72	2096,6	2.911,9	1509,5
2024	13.472	2303	3329	19104	0,174	0,826		0,72	2180,9	3.029,0	1570,2
2025	13.958	2389	3525	19872	0,177	0,823		0,72	2268,5	3.150,7	1633,3
2026	14.372	2478	3733	20583	0,181	0,819		0,72	2349,7	3.263,4	1691,7
2027	14.802	2570	3953	21326	0,185	0,815		0,72	2434,5	3.381,2	1752,8
2028	15.250	2666	4187	22102	0,189	0,811		0,72	2523,1	3.504,2	1816,6
2029	15.715	2765	4433	22913	0,193	0,807		0,72	2615,6	3.632,8	1883,3
2030	16.198	2868	4695	23761	0,198	0,802		0,72	2712,4	3.767,2	1952,9

Datos base para pronóstico

Datos proyectados

Figura A14
Proyección demanda sistema SIC

Año	Cemento [GWh]	Papel y celulosa [GWh]	Minería [GWh]	I y Minas varias [GWh]	Otros [GWh]	CPR [GWh]	Total suma [GWh]	CPR[0/1]	IND[0/1]	fc histórico	fc proyectado	Dmedia [MW]	Dmax [MW]	Dmin [MW]
1990	272	1208		2976	1326	4666								
1991	293	1547		3406	1394	4894								
1992	340	2087		3987	1587	5329								
1993	377	2133		4359	1497	5787								
1994	397	2118		4687	1580	6311								
1995	412	2369	2.451	5737	1656	6779	19404	0,349	0,651	0,6714091	0,679631735	2017,4	3.235,0	1658,9
1996	435	2503	2.958	5992	1801	7571	21260	0,356	0,644	0,68124851	0,685872274	2172,0	3.497,0	1793,3
1997	473	2290	3.131	6449	2128	8988	22560	0,359	0,641	0,67877676	0,688119034	2382,3	3.773,0	1934,8
1998	468	2545	3.362	6173	1940	8870	23357	0,380	0,620	0,69327211	0,707795898	2561,0	3.991,4	2046,8
1999	401	2752	3.526	7991	2162	9305	26137	0,356	0,644	0,69631235	0,685784813	2767,1	4.185,5	2146,4
2000	399	3185	4.378	7189	2194	9866	27212	0,363	0,637	0,69902706	0,691861788	2914,4	4.516,0	2315,9
2001	423	3645	4.513	7498	2278	11019	29376	0,375	0,625	0,70877359	0,703494577	3156,8	4.694,0	2407,1
2002	462	4163	4.924	7063	2285	11504	30402	0,378	0,622	0,70989448	0,706540645	3327,0	4.878,0	2501,5
2003	511	3863	5.749	7497	2489	12135	32243	0,376	0,624	0,70934596	0,704642049	3462,9	5.162,0	2647,1
2004	481	4043	5.594	8978	2334	13386	34816	0,384	0,616	0,7273414	0,712162339	3661,6	5.430,8	2785,0
2005	492	4352	5.534	8664	2396	14174	35611	0,398	0,602	0,7109001	0,724718344	3950,0	5.763,9	2955,8
2006	593	4980	5.942	9221	2531	14759	38026	0,388	0,612	0,72021678	0,715565515	4097,6	6.058,9	3107,1
2007	563	4588	5.789	10936	2792	16199	40867	0,396	0,604		0,723213086	4665,2	6.450,6	3373,9
2008	586	4887	5.830	11768	2913	17395	43378	0,401	0,599		0,727484816	4951,9	6.806,8	3602,4
2009	609	5206	5.914	12663	3040	18678	46110	0,405	0,595		0,731270332	5263,7	7.198,0	3849,2
2010	634	5545	6.556	13625	3173	20057	49589	0,404	0,596		0,730688413	5660,9	7.747,3	4136,3
2011	659	5907	7.383	14659	3311	21537	53455	0,403	0,597		0,729242212	6102,2	8.367,9	4450,0
2012	686	6292	7.627	15771	3455	23126	56957	0,406	0,594		0,732150606	6502,0	8.880,7	4760,4
2013	713	6702	7.934	16967	3606	24833	60756	0,409	0,591		0,734663063	6935,6	9.440,5	5095,3
2014	742	7139	8.044	18253	3763	26666	64607	0,407	0,587		0,738376547	7375,2	9.988,4	5445,7
2015	772	7605	8.207	19635	3926	28635	68779	0,406	0,584		0,74169403	7851,5	10.585,9	5823,4
2016	797	7733	8.606	20820	4063	30322	72342	0,406	0,581		0,744309924	8258,2	11.095,1	6146,6
2017	822	7863	8.846	22082	4205	32109	75927	0,423	0,577		0,747774997	8667,5	11.591,0	6481,3
2018	849	7996	9.095	23419	4352	34001	79711	0,427	0,573		0,751169336	9099,4	12.113,7	6835,2
2019	876	8131	9.354	24836	4503	36004	83704	0,430	0,570		0,754493534	9555,3	12.664,5	7209,4
2020	904	8267	9.623	26338	4660	38126	87919	0,434	0,566		0,757747574	10036,5	13.245,1	7605,1
2021	933	8407	10.045	27930	4823	40375	92513	0,436	0,564		0,76	10560,9	13.895,9	8026,3
2022	963	8548	10.336	29617	4991	42756	97212	0,440	0,560		0,76	11097,3	14.601,7	8433,9
2023	994	8692	10.638	31405	5165	45278	102173	0,443	0,557		0,76	11663,6	15.346,8	8864,3
2024	1026	8839	11.023	33300	5345	47949	107482	0,446	0,554		0,76	12269,6	16.144,2	9324,9
2025	1059	8988	11.420	35308	5532	50777	113084	0,449	0,551		0,76	12909,1	16.985,6	9810,9
2026	1093	9139	11.759	37436	5724	53772	118924	0,452	0,548		0,76	13575,8	17.862,9	10317,6
2027	1129	9293	12.111	39691	5924	56943	125091	0,455	0,545		0,76	14279,8	18.789,3	10852,7
2028	1165	9450	12.477	42081	6131	60302	131605	0,458	0,542		0,76	15023,4	19.767,7	11417,8
2029	1202	9609	12.858	44613	6344	63859	138485	0,461	0,539		0,76	15808,8	20.801,1	12014,7
2030	1241	9771	13.253	47296	6566	67626	145752	0,464	0,536		0,76	16638,4	21.892,6	12645,2

Datos base para pronóstico

Datos proyectados

ANEXO 7: METODOLOGÍA ESTIMACIÓN CONSUMO DE COMBUSTIBLES TRANSPORTE TERRESTRE

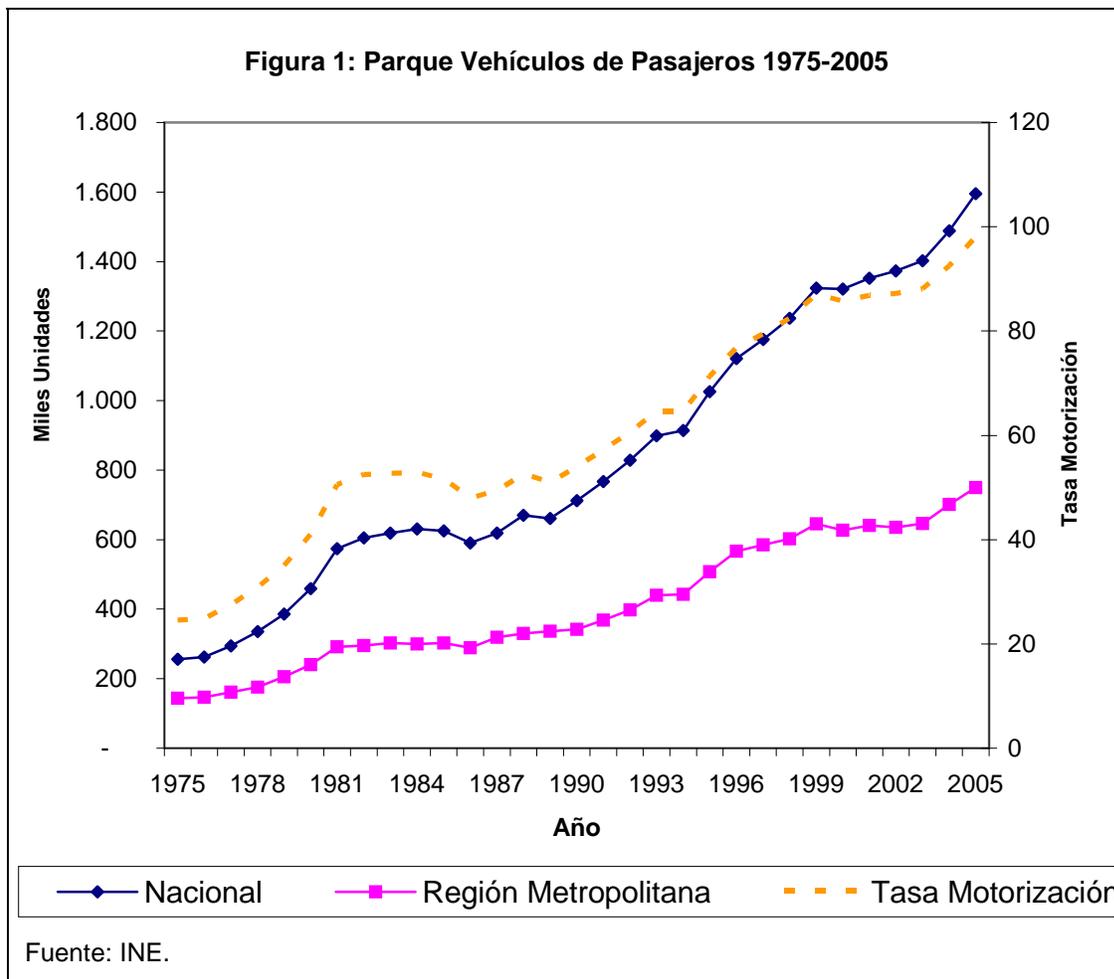
1.1 Parque de automóviles livianos y medianos.

Para analizar y proyectar el parque se usa información del stock de vehículos motorizados existentes en Chile, desagregado a nivel regional, a través de las encuestas anuales sobre permisos de circulación de vehículos, aplicada a las municipalidades del país. Esta encuesta ha cambiado de formato a través de los años y también han cambiado las categorías de vehículos. De la información existente se toma la serie larga del INE que contiene datos sobre parque a partir de 1975. Esta incluye información de automóviles particulares, taxis, camionetas y furgones, camiones, buses y otros. La proyección se separa entre automóviles livianos –incluye automóviles particulares y taxis- y vehículos comerciales livianos y medianos que incluye camionetas y furgones. En la figura 1 se muestra un gráfico conteniendo la tendencia en el parque para vehículos livianos de pasajeros tanto a nivel nacional como regional.

De la figura se desprende la existencia de un crecimiento explosivo del parque, el que se multiplica 5 veces entre 1975 y el 2005. Al comparar esto con el crecimiento de la población que aumenta en un 50% en el mismo período se concluye que mientras en el año 1975 habían 31 autos livianos por cada 1000 habitantes, en el año 2005 existían cerca de 130, cifra similar a México pero muy lejana de los cerca de 400 vehículos por cada mil habitantes de Europa o los cerca de 600 de USA. Evidentemente que parte fundamental de este éxito ha sido el crecimiento económico el cual, medido como PIB, se ha multiplicado por 2,5 veces en el mismo período. La Región Metropolitana ha concentrado históricamente casi el 50% de este parque, aún cuando participe con un 42% de la población total. De esta manera el número de vehículos de pasajeros por cada mil habitantes en esta región era de 147 el año 2005, un 12% mayor que a nivel nacional.

Sin embargo, esta información fue utilizada para obtener la composición del parque entre automóviles catalíticos y no catalíticos; además de la composición etérea del parque, para poder determinar los plazos en que los vehículos salen de circulación.

Finalmente, aún con algunos errores no sistemáticos, la serie del INE entrega información bastante consistente con el crecimiento del país y permite trabajar con una serie larga de tiempo, lo cual es muy útil para propósitos de predicción. Adicionalmente, la información de parque proporcionada por el INE ha sido el método de estudio del parque vehicular para estudios anteriores de estimación de emisiones incluido el inventario de emisiones.

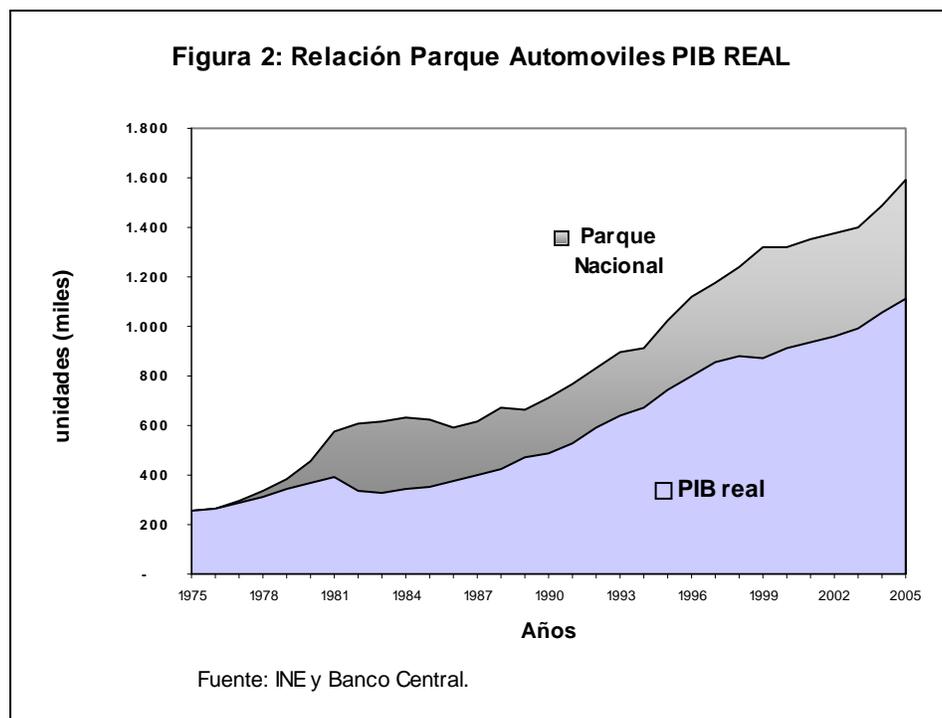


Existe también un estudio del parque de Chumacero y Quiroz (2007) que también utiliza la información del INE en la estimación de la elasticidad ingreso.

En resumen la información del INE permite analizar, estudiar y proyectar en forma mucho más certera el parque a nivel nacional que la información entregada por las plantas de revisión técnica. Esta última presenta serias deficiencias que subestiman el parque total de vehículos livianos y medianos. El equipo consultor estimó que al usar información de revisión técnica en el año 2001 se subestimaría el parque en un 13% comparado con la información del INE, entre otros problemas detectados.

1.1.1 Modelo Econométrico de Largo Plazo para proyectar el Parque Nacional

Para proyectar el parque se aplica un modelo econométrico al stock de automóviles de pasajeros y comerciales a nivel nacional. Se usa stock y no flujo ya que no se cuenta con una serie larga de información sobre ventas de automóviles. Estas últimas solo existen a partir de 1989. Al realizar un análisis gráfico, se observa que existe una fuerte correlación entre el producto interno bruto y el stock de automóviles. En la figura 2 se presentan estos dos indicadores. El PIB es convertido a un índice para dejarlo en la misma escala que el parque. Como es de esperar para un bien durable, las tendencias de largo plazo son muy parecidas. Ello permite usar un simple modelo de consumo durable para proyectar las tendencias de largo plazo del stock de vehículos. Este tipo de modelo asume que el stock deseado de un bien durable puede ser tratado como una inversión y por lo tanto, el individuo debe determinar el consumo (flujo) óptimo de consumo en el tiempo. Como la mayor parte de los modelos de consumo durable, este será explicado por variables como la riqueza y el ingreso.



1.1.2 Modelo Econométrico Utilizado

Se utiliza un modelo estándar de consumo de un bien durable (automóvil). Bajo este modelo se asume que los individuos son racionales y compran un vehículo para optimizar su bienestar. Ellos maximizan la siguiente función de bienestar:

$$\text{Max} \sum_{t=0}^T \beta^t U(x_t, g_t)$$

$$g_t = \frac{d_t s_t}{e_t}$$

Donde β es la tasa de descuento, x corresponde a otros bienes de consumo, g corresponde al consumo de gasolina, t es un índice de tiempo, d es la distancia en Kms, s es el stock de vehículos, e es un parámetro de eficiencia.

Los consumidores enfrentan una restricción de presupuesto es del tipo:

$$P_x x + p_g g + p_a v + f = y + (1+r)f_{t-1}$$

Los individuos gastan su ingreso (y) en otros bienes, gasolina, la compra o arriendo de un auto nuevo (v), un activo financiero (f) que les permite ahorrar o desahorrar. El stock de vehículos se ajusta a través de la ecuación:

$$v_t = s_t - (1-\delta)s_{t-1}$$

Donde δ es la tasa de obsolescencia del parque. Resolviendo este problema se puede obtener un modelo de forma de reducida que muestra que el stock deseado de automóviles (s^*) depende del costo de uso del vehículo y de la riqueza, esto es:

$s_t^* = s(cu_t, W_t)$, donde cu es el costo de uso que está compuesto por el valor anual equivalente de usar un auto (compuesto entre el precio de compra, el costo del combustible, el rendimiento y la distancia); y W es la riqueza, es decir, el ingreso más los activos financieros.

La modelación estadística asumirá que el stock deseado de automóviles (s^*) se ajusta suavemente a través del tiempo a través de un mecanismo de expectativas adaptativas que viene dado por:

$$s_t - s_{t-1} = \lambda(s_t^* - s_{t-1}), \lambda \in [0, 1]$$

Esto muestra que el stock deseado (s^*) en una fracción de la diferencia entre el stock actual y el del período anterior. De esta manera, se puede especificar un modelo lineal como:

$$s_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 y_t + (1-\lambda)s_{t-1} + e_t$$

La variable P_t es el costo de uso, y_t es el ingreso y se usará como proxy para la riqueza. Este modelo será estimado con datos del parque de automóviles de pasajeros y comerciales para el período 1975-2005. Los datos son obtenidos del INE y Banco Central y se expresan en términos reales. En el cuadro A38 se presentan los resultados de estos modelos.

Como variable proxy para el precio se utilizó el precio del dólar, el que no fue significativo en la estimación. Se utiliza el método de Mínimos Cuadrados en dos Etapas dada la existencia de una variable dependiente rezagada. Como método de corrección de autocorrelación de primer orden se utilizó el procedimiento Hatanaka.

Los resultados del modelo muestran que la única variable significativa es el ingreso. De este modelo se deduce que la elasticidad ingreso de corto plazo es de 0,71 y la elasticidad ingreso de largo plazo es de $0,89 = \frac{0,7189}{1-0,1987}$. Lo que significa que en promedio un 1% de aumento del PIB incrementó el número de automóviles, en el largo plazo, en 0,89. Similar a la que encuentran Chumacero y Quiroz (2007).

Cuadro A38: Resultado modelo largo plazo, Parque Vehículos Pasajeros.

	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor P
Constante	-0,8210	1,4536	-0,5648	0,5722
LPIB (*)	0,7189	0,0954	7,5361	0,0000
LDOLR	-0,0959	0,0902	-1,0638	0,2874
LPARR (*)	0,1987	0,0631	3,1509	0,0016
RHO	1,2550	0,0935	13,4181	0,0000
Método de Estimación: Mínimos Cuadrados en Dos Etapas R² ajustado= 0.9928 ; F[3, 25] = 1288.71, N = 29, (*) valido al 95% de confianza.				

Fuente: Elaboración propia

Este mismo modelo aplicado a automóviles comerciales livianos entrega los siguientes resultados.

Cuadro A39: Resultado modelo largo plazo, parque comercial.

	Coeficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor P
Constante	-4,4022	3,0161	-1,4596	0,1444
LPIB (*)	0,6133	0,1850	3,3150	0,0009
LDOL	-0,0120	0,1273	-0,0939	0,9252
LPARR (*)	0,5318	0,1107	4,8055	0,0000
RHO	1,1053	0,1418	7,7957	0,0000
Método de Estimación: Mínimos Cuadrados en Dos Etapas R² ajustado= 0.9902 ; F[3, 26] = 980.94, N = 30, (*) valido al 95% de confianza.				

Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores se obtiene una elasticidad ingreso de corto plazo de 0,61 y de largo plazo de $1,31 = \frac{0,6133}{1-0,5318}$. Tampoco la variable precio es significativa en este caso.

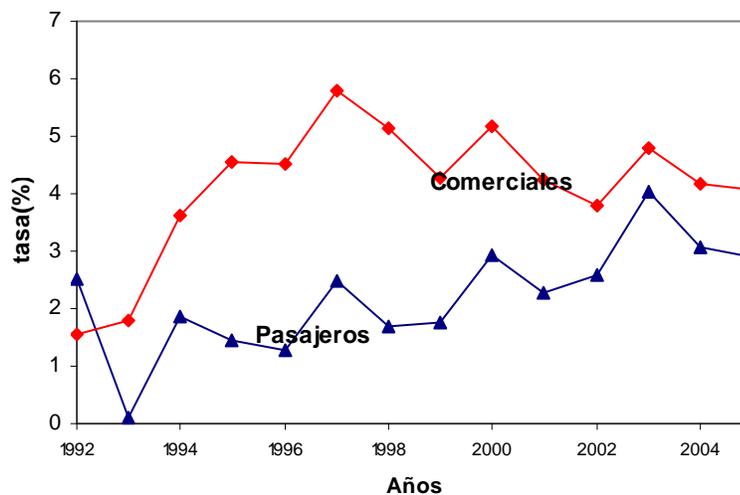
1.1.3 Estimación de la tasa de obsolescencia

El modelo anterior permite entregar una predicción del comportamiento del parque usando ciertos supuestos de ingreso. Para pasar de datos de parque a datos de venta se utiliza la ecuación de ajuste:

$$v_t = s_t - (1 - \delta)s_{t-1}$$

Esta ecuación indica que la ventas de automóviles en un período, es la diferencia entre el stock de autos que existe y el stock del año anterior, más una tasa de mortalidad u obsolescencia δ . Este dato no se conoce y se estima usando la información de parque y de ventas a nivel nacional para los años 1989-2002 y que se presenta en el cuadro A40. Se estima la tasa de obsolescencia usando la ecuación anterior. Aunque esta es muy errática, su valor medio gira en torno al 2,36% en el caso de los vehículos de pasajeros y en torno a, 3,73% en el caso de los vehículos comerciales⁷⁰.

Figura A17: Evolución tasa de obsolescencia estimada



Fuente: Elaboración propia

La estimación estadística de esta tasa usando los datos de ventas y parque son solo válidas en promedio. Esto debido, y como se desprende del cuadro anterior, a que las ventas no guardan relación con las diferenciales calculadas del stock. Se tiene que asumir que esto se

⁷⁰ Este número difiere con la información de ANAC debido a que el parque considerado es distinto. Aquí solo se toman vehículos livianos y medianos mientras que ANAC incluye en el parque de vehículos comerciales los buses.

debe a problemas temporales y por lo tanto existe un error de medición al estimar las ventas como la diferencia de stock menos la obsolescencia. Se representará el error de medición como E , y se asumirá que esta variable se distribuye con media cero y una cierta varianza en un lapso de tiempo no conocido.

Cuadro A40: Cálculo Tasa media de obsolescencia

Año	Vehículos de pasajeros			Tasa Estimada	Vehículos Comerciales			Tasa Estimada
	Parque	Diferencia	Ventas		Parque	Diferencia	Ventas	
1989	615.900	45.500	57.237	9,87	228.800	29.200	32.871	1,84
1990	655.800	55.900	40.904	-1,42	252.100	23.300	23.401	0,04
1991	706.500	60.500	53.968	-0,19	281.700	29.600	30.854	0,50
1992	763.600	64.800	75.038	1,78	315.600	33.900	44.614	3,80
1993	825.300	72.900	71.755	0,24	347.700	32.100	41.121	2,86
1994	837.400	76.900	66.244	5,58	364.200	16.500	42.083	7,36
1995	930.400	95.600	95.360	-1,79	399.900	35.700	51.070	4,22
1996	1.017.100	104.100	105.606	1,01	441.800	41.900	56.433	3,63
1997	1.061.100	114.700	112.548	5,17	469.500	27.700	62.927	7,97
1998	1.121.300	115.600	89.650	2,43	498.700	29.200	51.218	4,69
1999	1.207.000	116.800	68.132	-1,52	531.200	32.500	36.289	0,76
2000	1.210.000	110.600	71.499	5,64	529.900	-1.300	37.256	7,26
2001	1.248.000	103.900	64.269	2,50	541.100	11.200	34.062	4,31
2002	1.270.516	102.605	71.204	3,70	556.704	15.604	31.312	2,90
2003	1.302.602	100.164	88.014	4,25	562.238	5.534	31.512	4,67
2004	1.387.942	100.713	111.459	1,82	572.318	10.080	37.127	4,81
2005	1.490.540	104.588	133.936	1,84	598.230	25.912	48.411	3,93
Promedio	1.038.294	90.934	80.990	2,41	440.688	23.449	40.739	3,86

Fuente: Elaboración propia.

Las diferencias entre las ventas y las variaciones del parque se producen debido a que algunos autos que fueron sacados de circulación en el período t (reparación o dados de baja) son sacados del registro de inscripción mucho después. Por otro lado, autos que son vendidos en t son inscritos en un período posterior. Se puede deducir que estas diferencias se anularán al cabo de algún tiempo. Se supone que 4 años es un período razonable para que estas diferencias se anulen.

Dado lo anterior, se asume que la tasa de obsolescencia en promedio es correcta. Para ello se tomarán promedios móviles cada cuatro años y se analizará la tendencia de la serie. Gráficamente, se observa que esta tasa tiene un comportamiento autoregresivo. La tasa de obsolescencia estimada de vehículo de pasajeros tiene una tendencia positiva, mientras que la de vehículos comerciales parece haberse estabilizado cerca de 4%.

Dada la evidencia visual y con el objeto de analizar el comportamiento de la serie de datos en el tiempo se ajusta una ecuación autoregresiva de segundo orden con drift para la serie de autos comerciales. Esta es:

$$Tasa_t = \beta_0 + \beta_1 Tasa_{t-1} + \beta_2 Tasa_{t-2} + \beta_3 tiempo + \mu$$

Los resultados se muestran en los cuadros A41 y A42. El resultado de la proyección muestra que una ecuación autoregresiva se ajusta bien a los valores existentes. Se asumirá entonces que existe una tasa de obsolescencia creciente que se aproxima a un valor de 6% al año 2020. En Estados Unidos la flota de vehículos livianos dura 8,5 años y la tasa de retiro fue de alrededor de 6,5% en 1997. En la figura 5 se muestra la tasa de obsolescencia de este mercado. Esta osciló en alrededor de 6,22 entre 1973 y 1990 con tendencia a la baja. Para el caso de los vehículos comerciales esta fue de 4,21% ese mismo período de tiempo.

Cuadro A41: Resultado modelo tasa de obsolescencia, parque pasajeros.

	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor P
Constante (*)	-4,0443	1,0036	-4,0298	0,0024
TOVPR	-0,4910	0,1983	-2,4759	0,3280
TOVPRR (*)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
TIEMPO (*)	0,2915	0,0494	5,8998	0,0002

Método de Estimación: Mínimos Cuadrados Ordinarios
R² ajustado= 0.7209 ; F[3, 28] = 10.47, N = 12, (*) valido al 95% de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A42: Resultado modelo tasa de obsolescencia, parque comercial.

	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor P
Constante (*)	2,1100	0,7344	2,8729	0,0152
TOVCR (*)	0,5341	0,1717	3,1099	0,0099

Método de Estimación: Mínimos Cuadrados Ordinarios
R² ajustado= 0.4195 ; F[1, 11] = 9.67, N = 12, (*) valido al 95% de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

Para propósitos de proyección de la tasa de obsolescencia de automóviles de pasajeros se usa el valor de la tendencia generada por la ecuación anterior. Para el caso de los comerciales se asumirá que la tasa se estabiliza en alrededor de 4,04% y de allí se mantiene. En la memoria de cálculo se presentan las proyecciones de la tasa de obsolescencia.

Figura 4 : Predicción tasa de obsolescencia (Chile)

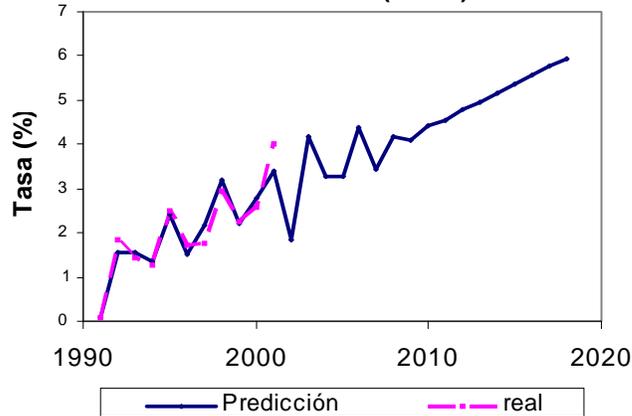
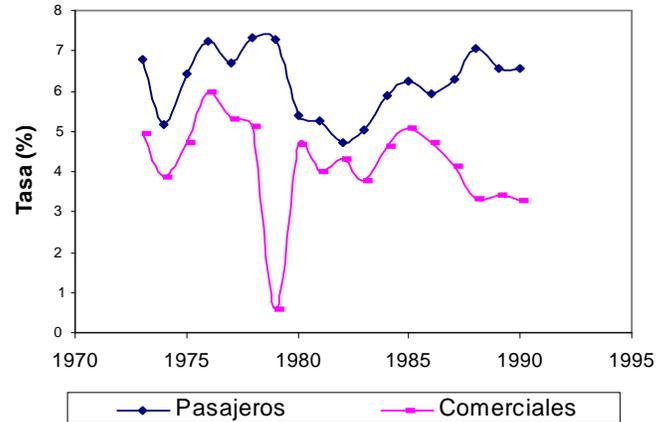


Figura 5: Tasas de obsolescencia (USA)



1.1.4 Proyección del Parque Nacional

La proyección del parque se realiza usando el modelo descrito y las tasas de obsolescencia de las secciones anteriores. En base a estas predicciones se estimarán las “ventas aparentes” de automóviles de pasajeros y comerciales en un escenario de largo plazo utilizando la ecuación de ajuste de stock.

El año 2005 el parque de vehículos livianos creció un 7,2%, y en el período 2000-2005 creció un promedio de 4,2% por año; mientras que las ventas en año 2005 crecieron en torno al 20% y en el período 2000-2005, el promedio fue de un 17,5%. Por lo tanto se puede concluir, que el parque ha estado creciendo a tasas crecientes. Algo similar ocurre con el parque de vehículos comerciales. Todo esto se puede apreciar en el Cuadro A43.

Cuadro A43: Tasas de Crecimiento del Parque y Ventas de Vehículos Livianos y Comerciales

Año	Vehículos Livianos				Vehículos Comerciales			
	Parque		Ventas		Parque		Ventas	
	Real	%	Real	%	Real	%	Real	%
2000	1.320.600		71.499		529.900		37.256	
2001	1.351.900	2,4%	64.269	-10,1%	541.100	2,1%	34.062	-8,6%
2002	1.373.121	1,6%	71.204	10,8%	556.704	2,9%	31.312	-8,1%
2003	1.402.766	2,2%	88.014	23,6%	562.238	1,0%	31.512	0,6%
2004	1.488.655	6,1%	111.459	26,6%	572.318	1,8%	37.127	17,8%
2005	1.595.128	7,2%	133.936	20,2%	598.230	4,5%	48.411	30,4%
2000-2005 Promedio	20,8%		87,3%		12,9%		29,9%	
	4,2%		17,5%		2,6%		6,0%	

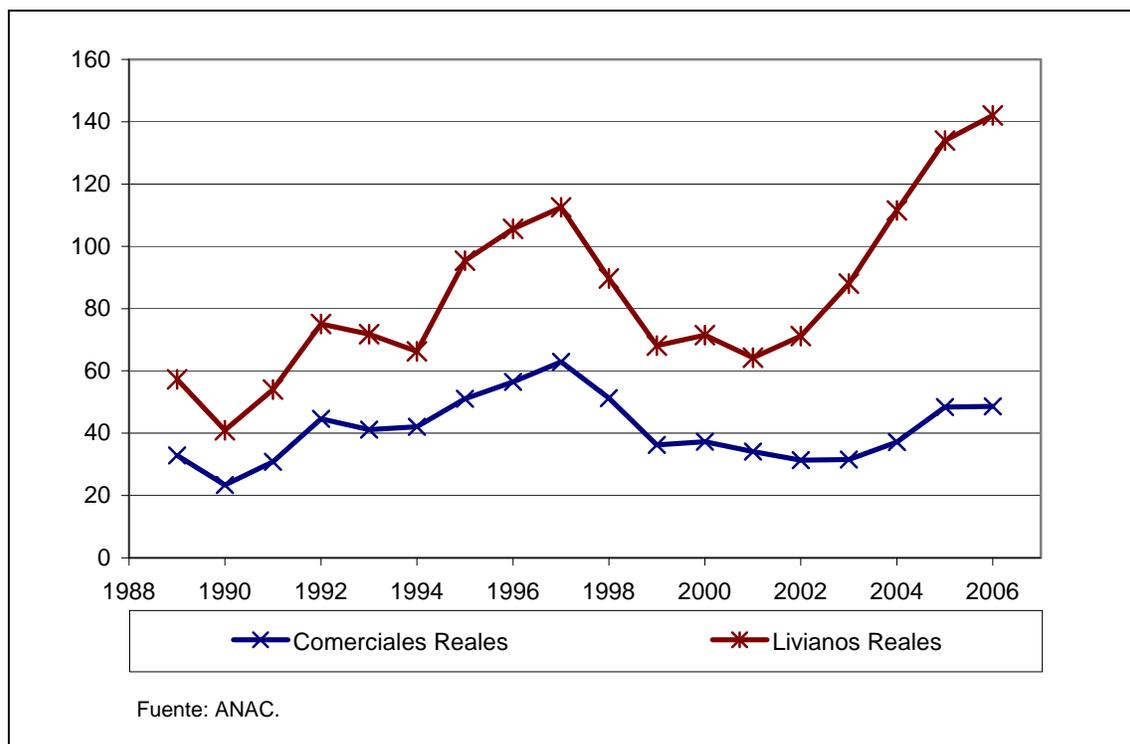
Fuente: ANAC.

La predicción del parque de largo plazo utilizará como principal parámetro la estimación de la elasticidad ingreso obtenido del modelo presentado en la sección anterior. Esta es una elasticidad de largo plazo promedio para el período 1975-2005, sin embargo, es conocido que a medida que aumenta el ingreso la elasticidad parque-ingreso se reduce. Por ejemplo, algunas estimaciones muestran que países con ingresos per cápita inferiores a US\$ 2.000 tendrían elasticidades de largo plazo superiores a 2.3, mientras que países con ingresos per cápita superiores a US\$ 20.000 tendrían una elasticidad de 0,1⁷¹.

1.1.4.1 Proyecciones de Ventas y Parque

Las ventas de automóviles nuevos se obtienen de la información entregada por ANAC, la cual se encuentra disponible en detalle para los años 1998-2007, y en forma agregada para los años 1989-1993. Los análisis se separan entre vehículos de pasajeros y comerciales porque claramente son un mercado distinto. De la información se desprenden los siguientes aspectos.

Figura A20: Ventas Reales de Vehículos de Livianos y Comerciales Nacional



Primero, el comportamiento de las ventas ha seguido la tendencia del desempeño de la economía chilena. La figura A20 muestra que existe una tendencia creciente hasta 1997 y

⁷¹ Para una revisión de modelos y estimación ver Medlock y Soligo, 2002, J of Trans. Econ. and Pol. V. 36, pp. 163-188. Ellos usan una estimación de panel para 28 países desarrollados y en desarrollo. Ellos usan datos de PIB per cápita corregido por PPP a precios de 1985. Aún cuando Chile no aparece entre los países analizados, países con PIB comparable como México y Malasia tendrían una elasticidad ingreso de alrededor de 1,2 .

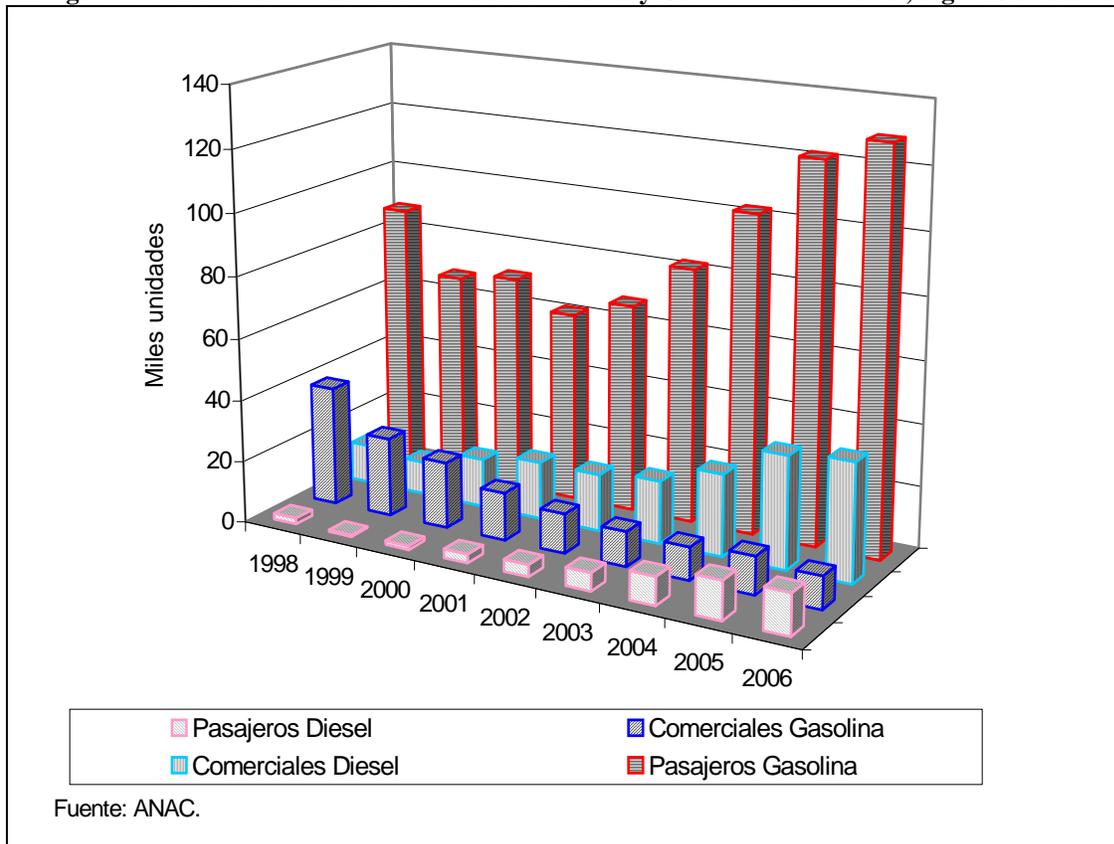
de allí comienza a caer al vaivén de la economía. A partir del año 2000 comienza la recuperación de las ventas de vehículos de pasajeros.

En segundo lugar, las ventas de vehículos de pasajeros y comerciales, figura A21, tienen un comportamiento similar hasta el año 2001, en que la tendencia entre ambas cambia fuertemente. A partir de allí, la venta de vehículos de pasajeros se recuperan y la de vehículos comerciales se mantienen estancadas. Claramente aquí se observa la incidencia de la Ley 19.738 contra la evasión tributaria.

Además, del gráfico A21 se desprende que las ventas de vehículos diesel han aumentado, tanto en el grupo de vehículos pasajeros, como en el grupo de vehículos comerciales. En este segmento en particular se puede observar que aún cuando las ventas totales disminuían, las ventas de vehículos diesel aumentaban y desde el año 2001 a la fecha el número de unidades, supera al número de unidades a gasolina. En efecto mientras en 1998 los diesel representaron el 24% de las ventas de este segmento, el año 2006 representaron cerca del 80%.

Situación que no ocurre en el caso de los vehículos de pasajeros, donde el número de vehículos diesel aumenta, pero muy por debajo de los vehículos a gasolina. Esto se traduce en que desde un 2,2% de importancia en 1998, el número de vehículos de pasajeros diesel vendidos llegó a un 9,2% en el año 2006.

Figura A21: Ventas Reales de Vehículos de Livianos y Comerciales Nacional, según Combustible.



Como se explicó en la sección anterior, se utilizaron 2 modelos para la proyección del parque: uno de corto plazo y uno de largo plazo; más un período de ajuste. En la práctica esto significa que en el período 2007-2011, las ventas se proyectan a través del modelo de corto plazo, en función de variables como PIB, desempleo, rentabilidad del mercado accionario y tipo de cambio real.

Para proyectar estas variables se utilizó la encuesta de expectativas que realiza el Banco Central, ajustando las variables por variaciones estacionales.

Para el período 2015-2030, se utilizó el modelo de largo plazo, las ventas se adaptan al crecimiento del parque, puesto que en el largo plazo, la única variable relevante será el nivel de actividad económica (PIB).

Finalmente en el período de ajuste, tanto las ventas como el parque se adecuan para lograr traspasar la proyección de corto plazo hacia la tendencia de largo plazo. Debido a que el crecimiento de las ventas en el corto plazo es superior a la tendencia de largo, se extrapolan linealmente estas tasas de crecimiento de manera que se ajusten en una cierta cantidad de años. Se asume que en 5 años las ventas se ajustan a un equilibrio de largo plazo.

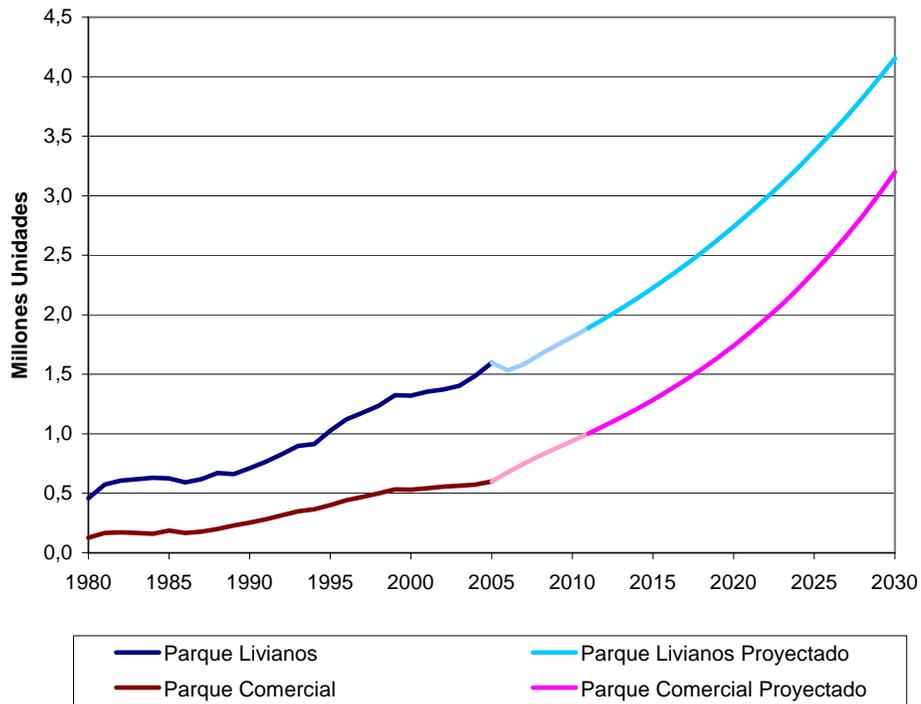
Con la información de ventas estimadas hasta el año 2011 y con el número de vehículos que salen por obsolescencia, se estima el parque de acuerdo a la ecuación de stock dada por:

$$s_t = v_t + s_{t-1} - \delta \cdot s_{t-1}.$$

Ello debido a que razonablemente se cree que el modelo de corto plazo proyecta relativamente bien el comportamiento de las ventas. Más allá de esto, se prefirió usar el modelo de stock de vehículos, es decir ver la tendencia del parque y determinar que nivel de ventas estaba acorde con un parque esperable de vehículos comerciales y de pasajeros. Por lo tanto, desde el año 2011 se utilizó como base de la proyección la tendencia del parque en el largo plazo usando la elasticidad ingreso definida anteriormente.

Para determinar el tamaño del parque en el período t , al parque del período anterior se le suman las ventas, y se le resta una fracción del parque del período anterior, por lo tanto, hay que resolverlo progresivamente desde el año 2006, hasta el año 2020. Los resultados se pueden apreciar en la figura A22. En esta figura, podemos ver el crecimiento que experimenta el parque vehicular nacional. En el caso de los vehículos de pasajeros livianos, se experimentaría un aumento en el parque desde 1.600.000 vehículos el año 2005 a 5.700.000 vehículos para el año 2030, lo que se traduce en un crecimiento cercano a 3,5 veces. Por otro lado, el caso de los vehículos comerciales, el crecimiento que experimentarían sería superior, puesto que en el mismo período estarían aumentando más de 4 veces, pasando desde un valor cercano a los 600.000 vehículos el año 2005 a un valor cercano a 2.600.000 vehículos al año 2030.

Figura A22: Proyección de automóviles livianos y comerciales 2005 - 2030

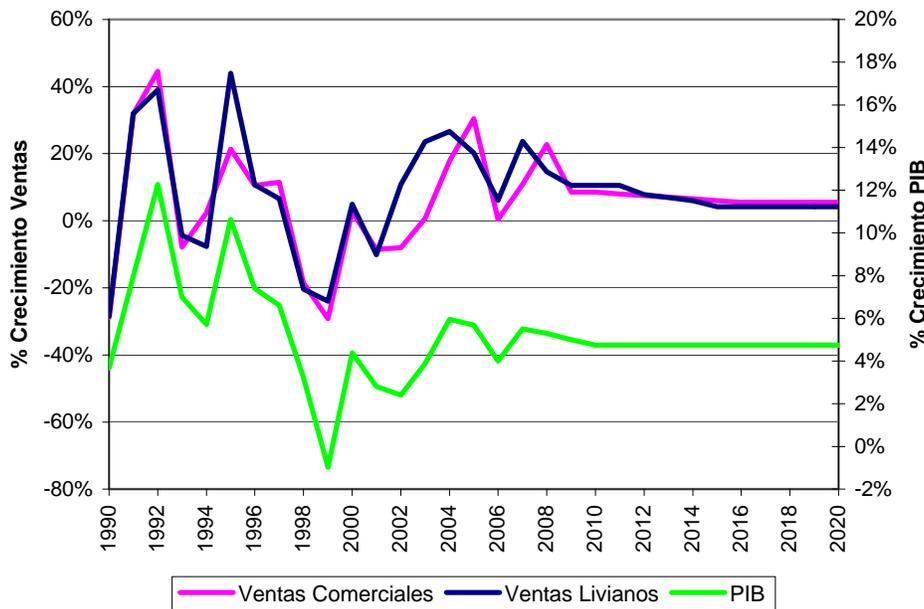


Fuente: ANAC y Elaboración Propia.

Si analizamos lo que ocurre con las tasas de crecimiento de las ventas, podemos observar que las ventas siguen el mismo comportamiento del PIB, como se puede apreciar en la figura A23. Aquí, vemos que en la medida que el PIB crece, las ventas de vehículos livianos, ya sean de pasajeros o comerciales, crecen; y en la medida que el PIB decrece, las ventas decrecen.

En el análisis se ha supuesto que la tendencia de largo plazo del PIB, es crecer a tasas cercanas al 4,75% anual, eso provoca que la tendencia de largo plazo de las ventas sea crecer a tasas cercanas al 5% (5,5 en el caso de los comerciales y 4,2 en el caso de los vehículos livianos).

Figura A23: Tasas de Crecimiento de Ventas y PIB



Fuente: ANAC y elaboración propia

1.1.4.2 Proyección del Parque: Comparación Internacional

Una forma de verificar los resultados encontrados hasta ahora, consiste en compararlos con otros estudios relevantes y con la experiencia internacional.

Así, si analizamos los resultados y proyecciones de Chumacero y Quiroz (2007) vemos que para el año 2015, proyecta una tasa de motorización que estará en el rango entre 0,19 y 0,23 vehículos por habitante; o lo que es equivalente a un intervalo entre 190 y 230 vehículos por cada 1000 habitantes.

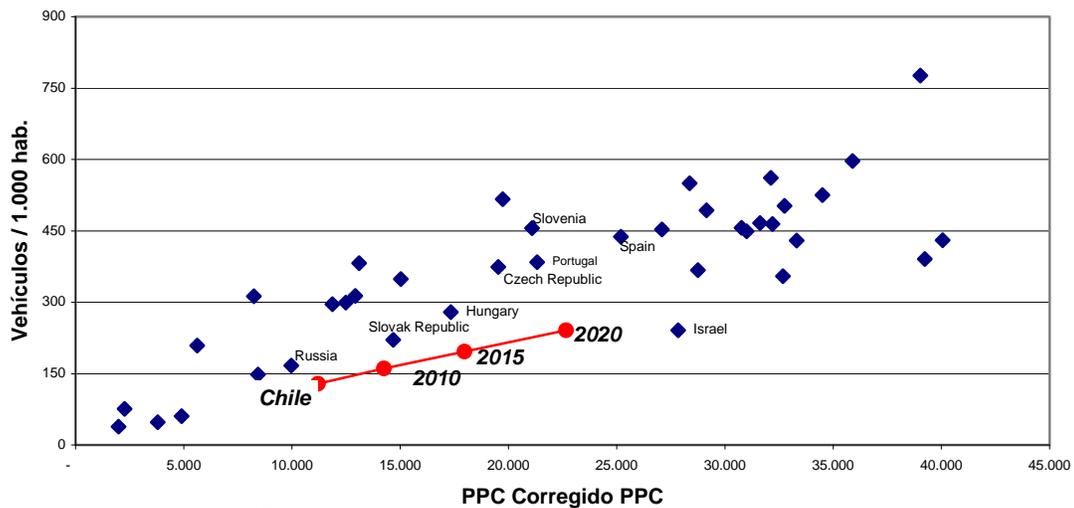
En este estudio se ha encontrado que para el año 2015, la tasa de motorización estará en torno a los 200 vehículos por 1000 habitantes, para llegar a 241,5 vehículos por cada 1000 habitantes al año 2020.

En el ámbito internacional, con las tasas de crecimiento del PIB esperadas para el período 2007-2020, Chile debiese pasar desde un PIB per cápita corregido por Poder de Paridad de Compra de US\$ 11.212 el año 2005 a US\$ 22.662. Esto significa que Chile el año 2020, debiese tener un PIB per cápita cercano los que poseen países como Eslovenia (US\$ 21.190), Portugal (US\$ 21.324) y España (US\$ 25.187), los cuales presentaban una tasa de motorización de 456, 384 y 437 vehículos por cada 1000 habitantes respectivamente.

Sin embargo, lo que podemos observar es que pese a que se doblaría el número de vehículos por cada 1.000 personas (129 a 241), todavía son tasas de motorización muy por debajo de las tasas de los países señalados anteriormente.

Por lo tanto, sólo se puede concluir que las estimaciones realizadas son bastante conservadoras, considerando la experiencia internacional.

Figura A24: Parque Vehículos de Pasajeros Versus PIB per cápita (2004)



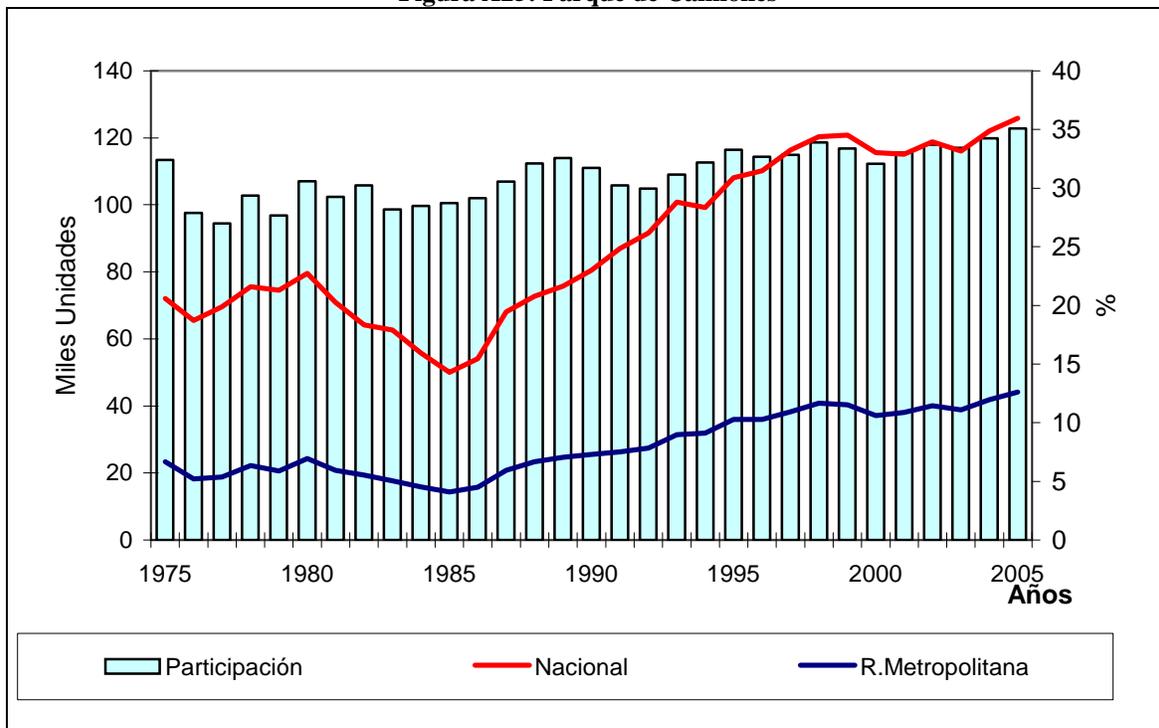
Fuente: FMI y UNECE.

1.2 Estimación del Parque de Camiones

Para estimar el parque de camiones se utilizó la información del INE para el período 1975-2005. Esta información, que se presenta en la figura siguiente, muestra que el parque de camiones a nivel nacional ha estado creciendo sostenidamente a una tasa promedio anual de un 2,2%. La misma información muestra que a nivel de la Región Metropolitana, el parque ha estado creciendo a una tasa promedio de 2,7%, lo que se traduce en que la participación media de la Región Metropolitana ha crecido en este período. En efecto, la figura muestra que la participación del parque de camiones de la R.M. en relación al total nacional fue de un 29,1% promedio en el período 1975-1985 y de un 32,5% en el período 1986-2005. La figura también muestra que a partir de 1990 esta participación se ha mantenido cerca del 33% y ha sido bastante estable, salvo los últimos dos años, en las que presentó un pequeño incremento.

Adicionalmente se cuenta con información de las plantas de revisión técnica para la R.M para el período 1998-2001. La información presentada en el cuadro siguiente muestra que la información de las PRT difiere fuertemente con la del INE en 1998 y 1999, pero ya en el año 2001 la información de ambas fuentes comienza a coincidir. Sin embargo y por las mismas razones enunciadas anteriormente, se optó por trabajar con la información del INE.

Figura A25: Parque de Camiones



Fuente: ANAC y elaboración propia

Cuadro A44: Parque de camiones R.M según PRT

Categoría	1998	1999	2000	2001
Camión < 7 ton	16.394	22.264	27.495	30.290
Camión 7 - 16 ton	3.030	2.582	2.872	3.920
Camión > 16 ton	40	34	60	207
Tracto camión < 7 ton	979	1.943	3.110	3.452
Tracto camión 7 - 16 ton	452	893	1.303	1.719
Tracto camión > 16 ton	14	30	38	274
Total PRT	20.909	27.746	34.878	39.862
Total INE	40.814	40.326	37.074	38.025

1.2.1 Estimación de la tasa de obsolescencia de camiones

Para estimar la tasa de obsolescencia se utilizaron los mismos supuestos anteriores, es decir se asume que la relación entre las ventas y el parque de automóviles viene dado por la relación:

$$v_t = s_t - (1 - \delta)s_{t-1}$$

Donde δ es la tasa de obsolescencia. El número de vehículos retirados se estima usando datos de parque y ventas de camiones provenientes de ANAC, se asume que la tasa de retiro u obsolescencia solo es válida en promedio y correspondería a un 3,13%. Esta tasa presenta una leve tendencia al alza en el último tiempo, tal como se desprende de la última columna del cuadro A45, donde se trabajan con promedios móviles cada cuatro años.

Sin embargo y dado la existencia de una cierta cantidad de camiones que entran al parque y que no está registrado como ventas es probable que la tasa sea aún mayor. Si se sume que anualmente entran otros 1000 camiones en forma anormal, los retiros aumentarían en promedio en 1000 unidades y la tasa de obsolescencia crecería a 4% promedio.

1.2.2 Proyección del Parque de Camiones

Para proyectar el parque se utilizó la información del INE a nivel nacional. Con esta información se estimó una ecuación de stock de camiones que puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$SC_t = \alpha + \beta_0 I_t + \beta_1 I_{t-1} + \beta_2 I_{t-2} + \beta_3 I_{t-3} + \beta P_t + \varepsilon_t$$

Donde SC es el parque de camiones en el año t, I_t es el ingreso del año t y I_{t-i} es el ingreso rezagado i períodos. Se incluye además una variable precio, la que fue estimada usando como proxy el precio del dólar.

Cuadro A45: Cálculo de la tasa de obsolescencia

Año	Parque INE	Diferencia	Ventas ANAC	Retiros Estimados	Retiros Estimados ^(*)	Tasa obsolescencia ^(*)
1989	75.700		4.860			
1990	80.500	4.800	2.807	-1.993		
1991	86.900	6.400	4.334	-2.066		
1992	91.600	4.700	7.606	2.906		
1993	100.800	9.200	7.806	-1.394	-637	-0,6%
1994	99.200	-1.600	7.442	9.042	2.122	2,1%
1995	108.100	8.900	9.362	462	2.754	2,5%
1996	110.200	2.100	9.590	7.490	3.900	3,5%
1997	116.400	6.200	10.269	4.069	5.266	4,5%
1998	120.400	4.000	7.528	3.528	3.887	3,2%
1999	120.800	400	4.557	4.157	4.811	4,0%
2000	115.600	-5.200	4.965	10.165	5.480	4,7%
2001	115.100	-500	4.648	5.148	5.750	5,0%
2002	118.814	3.714	4.584	870	5.085	4,3%
2003	116.100	-2.714	5.563	8.277	6.115	5,3%
2004	122.058	5.958	8.549	2.591	4.222	3,5%
2005	125.894	3.836	11.046	7.210	4.737	3,8%
promedio	107.304			3.779	4.115	3,53%
				3,52%		

* Promedio móvil de 4 años.

Fuente: ANAC y elaboración propia

La ecuación se estimó en logaritmo natural usando Mínimos Cuadrados Ordinarios corregido por autocorrelación de errores y sus resultados se presentan en el cuadro A46.

Cuadro A46: Resultado modelo largo plazo, Parque Camiones.

	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico t	Valor P
Constante (*)	3,7322	1,2109	3,0822	0,0021
LPIB (*)	0,6637	0,2615	2,5378	0,0112
LPIBR	-0,1749	0,3293	-0,5311	0,5954
LPIB2R	0,3924	0,3231	1,2148	0,2244
LPIB3R	-0,3315	0,2576	-1,2868	0,1982
LDOL(*)	-0,3557	0,1193	-2,9812	0,0029
RHO (*)	0,6034	0,1535	3,9319	0,0001

Método de Estimación: Mínimos Cuadrados Ordinarios
R² ajustado= 0.9479 ; F[5, 22] = 99,26, N = 28, (*) valido al 95% de confianza.

Fuente: Elaboración propia

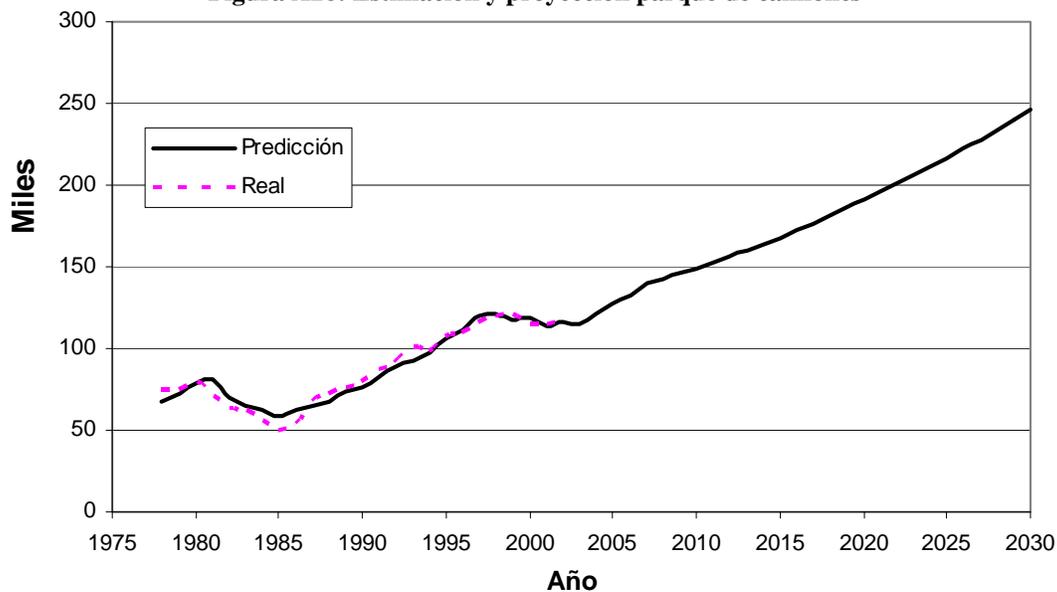
Las variables con (*) muestran significancia al 95%. Las variables LPIB es el logaritmo del Producto Interno Bruto (PIB), mientras que LPIBR es el logaritmo del PIB rezagado en un

período, LPIB2R indica 2 rezagos y así sucesivamente. LDOL es el logaritmo del valor real del dólar que se usa como variable proxy para el precio del camión. La elasticidad ingreso de corto plazo es de 0,66 mientras que la de largo plazo es de 0,55.

Usando estos datos y usando proyecciones del PIB y precio del dólar se estima el parque para el período 2006-2030. En la figura siguiente se presentan los valores reales y proyectados de la estimación. Se debe hacer notar que esta proyección es de largo plazo y no puede predecir lo que ocurrirá en el corto plazo.

Esto significa que sólo se proyecta el parque en función del PIB y del Tipo de Cambio Real. Luego, como la tasa de obsolescencia está definida como un porcentaje del parque del período anterior, se puede calcular fácilmente. Por último, las ventas se obtienen como la diferencia entre las unidades de un año con las del año anterior.

Figura A26: Estimación y proyección parque de camiones



1.3 Estimación del Consumo de Combustibles del Sector Transporte

Para proyectar el consumo de combustible del transporte terrestre al año 2030, es necesario asociar un nivel de actividad y un consumo de combustible por cada categoría de vehículo perteneciente al parque considerado.

A partir de los modelos de estimación de parque de camiones, información secundaria y un modelo econométrico simplificado que permitió proyectar buses interurbanos, se obtiene la evolución del parque automotriz nacional (cuadro A47).

Cuadro A47: Parque de vehículos a nivel Nacional: Proyección 2005 – 2030

Año	Livianos	Comerciales	Buses	Camiones	Buses	Otros
-----	----------	-------------	-------	----------	-------	-------



	Interurbanos			Santiago		
2005	1.595.128	598.230	34.413	125.894	9.000	130.237
2010	2.099.341	875.363	46.407	152.703	5805	130.237
2015	2.745.464	1.211.680	56.974	179.955	5573	130.237
2020	3.548.652	1.601.686	68.098	207.118	5573	130.237
2025	4.526.590	2.067.506	80.066	235.676	5573	130.237
2030	5.715.312	2.654.558	93.523	267.578	5573	130.237

Fuente: Elaboración propia

Tanto en vehículos livianos, como comerciales y camiones, se han considerado subcategorías, de acuerdo a la tecnología de los vehículos, a las que se han asociado factores de consumo de combustible de fuentes móviles en ruta proporcionadas por fuentes oficiales (COPERT IV, 2006). En el cuadro siguiente se presenta el resumen de las categorías consideradas y los factores de consumo correspondientes para cada una de ellas.

Cuadro A48: Categorías de vehículos y consumos de combustibles asociados

Categoría de Vehículo	Consumo de Combustible (gr/km)
Vehículos particulares gasolina catalíticos Tipo 1	80,2
Vehículos particulares gasolina catalíticos tipo 2	82,1
Vehículos particulares gasolina no catalíticos	97,3
Vehículos particulares Diesel Tipo 1	76,6
Vehículos particulares Diesel Tipo 2	75,8
Vehículos particulares Diesel Tipo 3	76,2
<hr/>	
Vehículos comerciales gasolina catalíticos Tipo 1	134,9
Vehículos comerciales gasolina catalíticos Tipo 2	134,9
Vehículos comerciales no catalíticos	115,2
Vehículos comerciales Diesel Tipo 1	104,4
Vehículos comerciales Diesel Tipo 2	95,2
Vehículos comerciales Diesel Tipo 3	95,2
<hr/>	
Camiones Livianos Convencionales	243,5
Camiones Livianos Tipo 1	205,4
Camiones Livianos Tipo 2	196,4
Camiones Livianos Tipo 3	206,2
Camiones Livianos Tipo 4	193,4
Camiones Livianos Tipo 5	197,2

Fuente: COPERT IV, 2006

De la misma forma, a continuación se presenta el resumen de las categorías consideradas en el caso de los buses y los factores de consumo correspondientes para cada una de ellas

Cuadro A49: Categorías de buses y consumos de combustibles asociados

Categoría de Vehículo	Consumo de Combustible (gr/km)
Buses Transantiago	
Euro 1	318,7
Euro 2	342,6
Euro 3	312,3
Euro 3 80pax	530
Euro 3 160pax	559
Buses Interurbanos	
Euro 1	318,7

Fuente: COPERT IV, 2006

Por último, se requiere asociar un nivel de actividad promedio anual a las grandes categorías (modos) de vehículos consideradas. Ello se realiza sobre la base de opinión experta e información secundaria y se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro A50: Nivel de Actividad por Modo

Categoría	Nivel de Actividad (Km/Año)
Vehículos Livianos	15.000
Vehículos Comerciales	25.000
Buses Interurbanos	50.000
Camiones	60.000
Buses Santiago antiguos	70.000
Buses Transantiago	60.000
Otros	5.000

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, dado el parque de vehículos (número), el consumo de combustible y los kilómetros recorridos al año de cada categoría, es posible estimar el consumo de combustible total anual, dividido en gasolina y diesel. Ello se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro A51: Consumo de combustible por categoría de vehículo: 2005 – 2030

Año	Vehículos Livianos		Vehículos Comerciales		Camiones	Buses Interurbanos	Buses Santiago	Otros
	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel				
	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)	(Toneladas)
2005	1.175.377	23.619	940.874	310.377	1.604.421	548.371	206.313	207.543
2010	1.435.793	183.497	978.204	936.011	1.921.281	739.498	206.223	207.543
2015	1.718.332	476.220	885.894	1.852.130	2.218.391	907.888	211.284	207.543
2020	2.035.111	894.923	724.768	2.837.553	2.524.150	1.085.138	211.284	207.543
2025	2.363.989	1.509.022	626.751	4.197.198	2.843.332	1.275.855	211.284	207.543
2030	2.791.741	2.211.242	516.950	5.720.657	3.195.464	1.490.290	211.284	207.543

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el cuadro anterior, el consumo proyectado de diesel será mucho mayor que los requerimientos de gasolina al año 2030. En efecto, el consumo de diesel aumenta en 3,5 veces, mientras que el de gasolina sólo en un 56%.

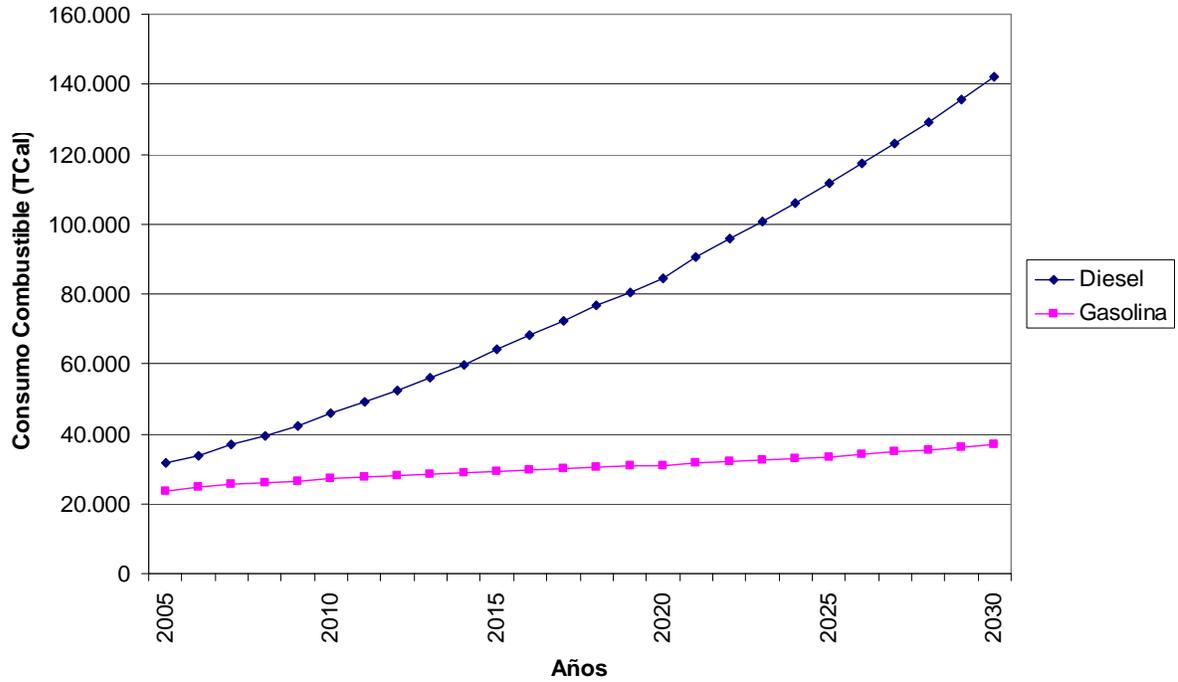
Finalmente, en el cuadro y la figura siguientes se presenta el consumo de combustible diesel y gasolina en una unidad energética común (TCal).

Cuadro A52: Consumo de combustible por categoría de vehículo: 2005 – 2030 (TCal)

Año	Consumo Diesel (TCal)	Consumo Gasolina (TCal)
2005	31.617	23.702
2010	45.715	27.037
2015	64.021	29.167
2020	84.590	30.911
2025	111.662	33.496
2030	142.098	37.057

Fuente: Elaboración propia

Figura A27: Estimación consumo de combustible diesel y gasolina: 2005 – 2030



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: DEMANDA MÁXIMA ESTIMADA PARA EL SIC Y SING

Año	Demanda máxima SIC [MW]	Demanda máxima sistema SING [MW]	Energía SIC [MWh]	Energía SING [MWh]
1995	3.235	611	19.403.839	4.501.262
1996	3.497	747	21.259.934	5.378.307
1997	3.773	812	22.559.973	6.444.419
1998	3.991	1.021	23.356.869	7.275.655
1999	4.186	1.094	26.136.695	8.305.102
2000	4.516	1.154	27.212.001	9.130.797
2001	4.694	1.221	29.376.162	9.722.237
2002	4.878	1.360	30.402.186	10.123.778
2003	5.162	1.416	32.243.162	11.789.601
2004	5.431	1.567	34.816.023	11.794.478
2005	5.764	1.566	35.610.883	12.124.952
2006	6.059	1.676	38.026.260	12.305.797
2007	6.451	1.774	40.867.069	11.560.540
2008	6.807	1.878	43.378.335	12.009.794
2009	7.198	2.004	46.109.741	12.690.463
2010	7.747	1.963	49.589.251	12.382.209
2011	8.368	2.076	53.455.448	13.091.281
2012	8.881	2.123	56.957.326	13.388.223
2013	9.441	2.045	60.755.759	12.901.295
2014	9.988	2.099	64.606.923	13.239.970
2015	10.586	2.165	68.779.307	13.656.780
2016	11.095	2.272	72.341.689	14.330.766
2017	11.591	2.349	75.927.227	14.814.455
2018	12.114	2.429	79.711.034	15.319.677
2019	12.665	2.513	83.704.455	15.847.396
2020	13.245	2.600	87.919.383	16.398.688
2021	13.896	2.718	92.513.108	17.144.861
2022	14.602	2.813	97.212.009	17.742.118
2023	15.347	2.912	102.172.881	18.365.943
2024	16.144	3.029	107.481.828	19.104.462
2025	16.986	3.151	113.083.513	19.871.932
2026	17.863	3.263	118.923.742	20.582.943
2027	18.789	3.381	125.091.373	21.325.797
2028	19.768	3.504	131.605.201	22.101.978
2029	20.801	3.633	138.485.115	22.913.040
2030	21.893	3.767	145.752.157	23.760.614

ANEXO 9: EL MODELO LEAP Y UNA PROPUESTA PRELIMINAR DE IMPLEMENTACION PARA CHILE

En este apartado se hace una propuesta respecto de la implementación del modelo LEAP para Chile. Se presenta primero cómo estimar la demanda de energía utilizando el modelo LEAP y la forma en que éste podría implementarse para Chile. Basado en lo anterior, se sugiere una estrategia preliminar para poder realizar esta implementación.

1) Introducción: Estimando Demanda Energética en LEAP

En el modelo LEAP, el análisis de demanda se realiza siguiendo un enfoque de uso final. Al seguir este enfoque se usa información económica, demográfica y de usos energéticos para construir escenarios que examinan los consumos totales o desagregados por tipo de combustible y como estos evolucionan a través de los sectores de la economía.

LEAP brinda flexibilidad para escoger la estructura de los datos de demanda energética. En particular, es posible modelar demanda con altos niveles de agregación como también estructuras de uso final muy desagregadas. Típicamente, una estructura considera sectores como hogares, industria y transporte. A su vez, estos sectores pueden desagregarse en subsectores, usos finales y/o artefactos que consumen energía.

LEAP provee de distintas opciones metodológicas para realizar análisis de demanda. En particular considera las siguientes alternativas metodológicas:

- **Análisis de Nivel de Actividad.** Este enfoque permite incorporar directamente los consumos energéticos de una actividad a un análisis de demanda de energía final (Incorporación directa en el modelo de cada consumo final). Otra alternativa es estimar los consumos de energía como el producto entre el nivel de actividad y alguna estimación de la intensidad energética anual (uso de energía por unidad de actividad).
- **Análisis de Stock.** Según este enfoque el consumo se calcula mediante el análisis presente y futuro de artefactos que consumen energía y la intensidad energética anual de cada artefacto (definido como energía por artefacto).
- **Análisis de Transporte.** Este enfoque permite calcular el consumo energético de cada categoría vehicular considerada como el producto entre el número de vehículos, la distancia media recorrida por cada vehículo al año y el consumo unitario de combustible.

El LEAP permite escoger entre las distintas metodologías y utilizarlas conjuntamente. Por ejemplo, puede utilizarse un enfoque de nivel de actividad para la actividad industrial y uno de stock para el sector residencial.

En cada caso, los cálculos de demanda se basan en la desagregación de distintas medidas de actividades sociales y económicas (número de hogares, kilómetros recorridos por vehículo, toneladas de producción industrial o valor comercial agregado). Estos niveles de actividad luego deben multiplicarse por las intensidades energéticas de cada actividad. Cada medición de nivel de actividad o de intensidad energética puede proyectarse en el LEAP mediante distintas técnicas que van desde aplicar tasas de crecimiento a técnicas más sofisticadas como interpolación y suavización exponencial.

2) Propuesta de Desarrollo para Chile

En esta sección se presenta una propuesta para utilizar el modelo LEAP (u otro similar de uso final) en Chile. Esta propuesta tiene como objeto utilizar el potencial de este tipo de modelos. En particular, la propuesta busca incorporar en el modelo energético el cambio tecnológico y posibles medidas de eficiencia energética. Los criterios de definición de esta propuesta se basan en la factibilidad de obtener información en cada caso y en que los sectores escogidos abarquen una fracción relevante del consumo del sector.

Para ello, se distingue entre cuatro sectores principales de demanda final donde se justifica realizar los primeros intentos de estimación de demanda energética más detallada.

- Residencial
- Principales sectores Industriales
 - Papel y celulosa, Siderurgia, Cemento, Industrias varias.
- Minería del Cobre
- Transporte Terrestre

Al año 2006 y según el Balance de Energía, el sector residencial representa más del 80% del consumo total del sector CPR. Al considerar los consumos de los sectores industriales señalados y de minería del cobre se incluye alrededor del 87% del consumo total del sector industria y minería según el Balance Energético del 2006. Finalmente, el transporte terrestre según el mismo balance representa alrededor del 70% del consumo total del sector transporte.

Para los sectores más pequeños se sugiere mantener análisis de estimación simple (ya sea econométricos relacionados con variables económicas o que permitan ser estimadas a partir de los consumos de sectores principales). Este tipo de enfoques se sugiere por ejemplo para los sectores comercial, público y sectores industriales y mineros menores. Esto se justifica además por contar estos sectores pequeños con escasa disponibilidad de estudios y datos

que permitan implementar adecuadamente un enfoque de uso final en el corto o mediano plazo.

A continuación para cada uno de estos sectores se propone una alternativa para el caso chileno.

2.1 Sector Residencial

En el sector residencial se propone un análisis de stock. La justificación para esta elección se basa en estudios preliminares existentes con fines comerciales respecto de la compra y venta de artefactos energéticos de uso residencial, o bien estudios con motivaciones de eficiencia energética que cuentan con información respecto de artefactos de uso residencial y tendencias tecnológicas. Respecto, a las tendencias tecnológicas es posible incorporar consideraciones de experiencias internacionales de países desarrollados, estudios de tendencias tecnológicas y/o opinión experta de actores relevantes.

Puede ser conveniente desagregar los artefactos en categorías según uso. Por ejemplo, iluminación, calefacción, refrigeración, etc. Por motivos de eficiencia energética y para obtener estimaciones de consumos más precisos, deben distinguirse tipos de artefactos (por ejemplo, ampolletas eficientes y la evolución de tasas de penetración). También, las normativas de vivienda deben considerar en los cambios de consumo particularmente para los usos de calefacción. Por otra parte, y con el objeto de tener mayor representatividad, puede ser deseable desagregar los consumos energéticos de los hogares por estratos socioeconómicos.

El cuadro siguiente presenta para el sector residencial el tipo de análisis escogido, los tipos de estudios y datos ya existentes que justifican la elección metodológica, y los datos finales necesarios. Para obtener éstos últimos, se utilizaría la información ya existente y potenciales antecedentes adicionales. En particular, y a modo de ejemplo, puede ser conveniente relacionar el aumento de stock de algunos artefactos con niveles de actividad económica (como crecimiento) tras el correcto testeado estadístico de tal dependencia. Por otra parte, y a pesar de que por la naturaleza de los modelos de uso final, estos no pueden incorporar cambios en precios relativos de combustible, supuestos de largo plazo de entrada y reemplazo tecnológico pueden suplir esta falencia e intentar representar condiciones de mercado en el futuro.

Cuadro 4 Tipo de Análisis, Justificación y Datos Necesarios de Procesar para el Sector Residencial.

Sector	Tipo de Análisis	Tipo de Datos/Estudios Existentes que Justifican Elección	Datos Finales Necesarios
Sector Residencial	Análisis de Stock	Existencia de Estudios de Mercado y Eficiencia Energética, encuestas tipo CASEN, datos de mercado (ventas y tendencias), datos demográficos	Inventario actual y proyectado por tipo de artefacto (según uso), estimación de uso promedio anual por tipo de artefacto. Para motivos de eficiencia energética desagregar por tipo de ampolleta, etc. (Puede ser útil desagregar por estrato socioeconómico).
		Estudios tecnológicos de tendencias, experiencia internacional, opinión experta	Consumos representativos unitarios (por hora-artefacto) y proyección al futuro.

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de análisis parece adecuado para distintos artefactos ya sea eléctricos, a gas natural, gas licuado, kerosene, etc. Por este mismo motivo, el análisis de políticas o tecnologías de eficiencia energética resultan simples y directos. Sin embargo, un combustible relevante que no parece factible abordar a partir de este enfoque es la leña. De todos modos, la flexibilidad que poseen los modelos tipo LEAP permiten incorporar para este combustible alguna alternativa de estimación simple (por ejemplo, de tipo estadístico o econométrico) basado en estudios complementarios.

A modo de ejemplo, el cuadro siguiente presenta según el uso, los tipos de artefactos generalmente relevantes en este tipo de análisis.

Cuadro 5 Ejemplo de Usos y Artefactos de Uso Residencial

Uso	Artefactos
Iluminación	Ampolletas Incandescentes
	Ampolletas Eficientes
Calefacción y Sistemas de Acondicionamiento	Estufas Eléctricas
	Estufas Gas Natural
	Estufas Gas Licuado
	Estufas Parafina
	Calefacción Central (por tipo de combustible)
	Calefacción a Leña//uso combinado con cocción y calentamiento de agua.
	Otros
Refrigeración	Aire Acondicionado/ ventilación
	Refrigeradores Normales
Cocción	Refrigeradores Eficientes
	Cocinas a Gas Natural
	Cocinas a Gas Licuado
	Cocinas Eléctricas
Usos Varios	Cocinas a Leña
	Computadores
	Televisores
	DVD's
	Equipos de audio
	Artefactos electrodomésticos
	Otros

Fuente: Elaboración Propia

Para poder introducir en un modelo de uso final el detalle por artefacto, es decir tecnología, características de consumo, evolución de parque e intensidad energética, etc. se insiste en la necesidad de realizar un estudio destinado exclusivamente para tal efecto.

2) Principales Sectores Industriales y Minería del Cobre

Para los principales sectores industriales y la minería del cobre se sugiere un análisis de nivel de actividad. Los sectores industriales deberían incluir los sectores de papel y celulosa, cemento, siderurgia e industrias varias. En cada caso, el nivel de actividad en cada caso puede ser una métrica física o económica de la producción de cada sector. Para el caso de industrias varias el nivel de actividad puede ser la producción agregada de la economía y/o otras variables agregadas que permitan explicar bien su evolución.

Este tipo de análisis se justifica para estos sectores por el hecho de ser la industria y minería extremadamente heterogénea y por ser muy difícil realizar un análisis de stock. Este último tipo de análisis requeriría un inventario detallado de motores, calderas, y de cada tipo de

artefacto utilizada en cada una de las industrias. Por otra parte, muchos de estos sectores cuentan con estudios en que se proyecta al futuro la producción y planes de desarrollo (como por ejemplo, proyectos de inversión). Además, la experiencia internacional suele realizar análisis de tipo stock para los sectores industriales (Por ejemplo MAED).

Los consumos por nivel de actividad deben incorporar las normativas y opciones voluntarias de las empresas por aumentar la eficiencia de los procesos. En este caso, y a pesar de no recomendar en estos sectores un análisis de stock por la intensidad de datos requeridos, las intensidades energéticas deben considerar la penetración progresiva de estas alternativas.

El cuadro siguiente presenta para los principales sectores industriales el tipo de análisis sugerido, los tipos de estudios y datos existentes que justifican la elección metodológica, y los datos finales necesarios. Para obtener estos últimos, se utilizaría la información ya existente y potenciales antecedentes adicionales.

Cuadro 6 Tipo de Análisis, Justificación y Datos Necesarios de Procesar para Principales Sectores Industriales y Minería del Cobre

Sector	Tipo de Análisis	Tipo de Datos/Estudios Existentes que Justifican Elección	Datos Finales Necesarios
Principales Sectores Industriales y Minería del Cobre	Análisis de Nivel de Actividad	Existencia de Estudios de proyectos de inversión, proyecciones de producción sectoriales, relación entre producción sectorial con nivel de actividad económica agregada	Niveles de actividad (producción física o económica) actuales y proyectadas. Debe incorporar efecto de por ejemplo motores más eficientes y su evolución.
		Estudios de caracterización tecnológica por sector, experiencia internacional de sectores, opinión experta	Para cada sector, estimación de uso de cada combustible por unidad de nivel de actividad actual y proyectadas.

Fuente: Elaboración Propia

En este tipo de análisis, el reemplazo y cambio tecnológico (variación de consumo de cada combustible por unidad de nivel de actividad sectorial) debe intentar representar condiciones de mercado y tecnológicas de largo plazo.

3) Sector Transporte Terrestre

Para el sector transporte se sugiere un análisis de transporte. Éste es análogo al análisis de stock pero incorpora las particularidades del sector transporte. Permite trabajar en base a una desagregación de las categorías vehiculares habituales (vehículos livianos particulares y comerciales, transporte de carga, transporte de pasajeros urbano e interurbano). A su vez, dentro de cada categoría es posible hacer distinciones por tecnología (el combustible utilizado y, por ejemplo, que cumpla alguna norma EPA o EURO).

La elección de este tipo de análisis se justifica por contar con estudios e información desagregada del parque vehicular existente, de los consumos medios por kilómetro recorrido según categoría vehicular y tecnología, y de estimaciones de niveles de actividad promedio por tipo de vehículo. Adicionalmente, la industria automotriz cuenta con metas claras respecto de eficiencia en consumo de combustible y ambientales que resultan fáciles de incorporar. Por ejemplo, entrada de normas EPA o EURO, etc.

El cuadro siguiente presenta para el sector transporte terrestre el tipo de análisis sugerido, los tipos de estudios y datos existentes que justifican la elección metodológica, y los datos finales necesarios. Para obtener éstos últimos, se utilizaría la información ya existente y potenciales antecedentes adicionales.

Cuadro 7 Tipo de Análisis, Justificación y Datos Necesarios de Procesar para el Sector Transporte Terrestre.

Sector	Tipo de Análisis	Tipo de Datos/Estudios Existentes que Justifican Elección	Datos Finales Necesarios
Sector Transporte Terrestre	Análisis de Transporte	Existencia de Estudios y datos de parque y proyecciones, consumos por kilómetro recorrido, niveles promedio anuales por categoría.	<ul style="list-style-type: none"> • Proyección de parque por categoría vehicular, • Consumos, niveles de actividad promedio anuales por categoría.
		Estudios de futuras tecnologías y penetraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de penetración de nuevas tecnologías por categoría vehicular, • Evolución de consumos de combustible

Fuente: Elaboración Propia

A modo de ejemplo, el cuadro siguiente presenta una desagregación usual del parque de transporte terrestre y tecnología.

Cuadro 8 Ejemplo de modos de transporte

Modos de Transporte	Tecnología
Vehículos Livianos	Vehículos Particulares Diesel Euro1
	Vehículos Particulares Diesel Euro3
	Vehículos Particulares Gasolineros Catalíticos Euro1
	Vehículos Particulares Gasolineros Catalíticos Euro3
	Vehículos Particulares Gasolineros Catalíticos Euro4
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos ECE 15-00/01
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos ECE 15-02/03
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos ECE 15-04
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos Improved conventional
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos Open loop
	Vehículos Particulares Gasolineros No Catalíticos PRE ECE
	Híbridos
Vehículos Comerciales	Comerciales Gasolina Convencional
	Comerciales Gasolina Euro1
	Comerciales Diesel Convencional
	Comerciales Diesel Euro1
	Híbridos
Buses Interurbanos	Euro 1
	Euro 2
	Euro 3
	Euro 3 80pax
	Euro 3 160pax
Buses Urbanos	Euro 1
	Euro 2
	Euro 3
	Euro 3 80pax
	Euro 3 160pax
Transporte de Carga	Camiones Livianos Convencional
	Camiones Livianos PEC-0
	Camiones Livianos PEC-1
	Camiones Livianos PEC-2
	Camiones Livianos PEC-3
	Camiones Livianos PEC-4
	Camiones Medianos Convencional
	Camiones Medianos PEC-0
	Camiones Medianos PEC-1
	Camiones Medianos PEC-2
	Camiones Medianos PEC-3

Modos de Transporte	Tecnología
	Camiones Medianos PEC-4
	Camiones Pesados Convencional
	Camiones Pesados PEC-0
	Camiones Pesados PEC-1
	Camiones Pesados PEC-2
	Camiones Pesados PEC-3
	Camiones Pesados PEC-4

Fuente: Elaboración propia

4) Levantamiento de la información requerida por el modelo LEAP

En el siguiente cuadro se distingue la información que puede ser incorporada en el modelo LEAP y un levantamiento preliminar de la disponibilidad de información existente. Hay que recalcar en la necesidad de un proceso más detallado de recopilación de ésta.

Cuadro 9 Ejemplo información que se podría incorporar en el modelo LEAP y sus disponibilidad de información.

		Datos requeridos en el periodo de estudio	LEAP	Información disponible
Datos generales	Demografía	Población	X	Si
		Tasa de crecimiento de la población	X	Si
		Población urbana y rural		
		Fuerza laboral		
		Porcentaje de la población en grandes ciudades		
	Índices económicos	PIB	X	Si
		Tasa crecimiento PIB	X	
		Estructura PIB principales sectores y subsectores económicos		Si(1)
	Índices energéticos	Intensidades energéticas subsectoriales por consumo de motor		
		Intensidades energéticas subsectoriales por uso específico de electricidad		
		Intensidades energéticas subsectoriales por usos térmicos		
		Consumos energéticos sectoriales y subsectoriales (Balance energético)	X	Si
Sectores	Industrial y Minero	Estructura de la demanda térmica útil por proceso		
		Factor de penetración de portadores energéticos en los diferentes subsectores		
		eficiencia de los combustibles en los diferentes subsectores		Si

		Datos requeridos en el periodo de estudio	LEAP	Información disponible
		eficiencia de los procesos en los diferentes subsectores		
	Transporte Carga	Generación carga-kilómetro		
		Estructura por modo de transporte de carga	X	Si
		Intensidades energéticas de transporte de carga	X	Si
	Transporte pasajeros dentro de la ciudad	Distancia recorrida en la ciudad	X(2)	
		Factores de carga		
		Estructura por modos de transporte dentro de la ciudad		Si
		Intensidades energéticas de transporte de pasajeros en la ciudad	X	
	Transporte pasajeros entre ciudades	Distancia recorrida entre ciudades	X(2)	
		Factores de carga		
		Estructura del transporte público	X(3)	Si
		Intensidades energéticas del transporte público		
	Residencial Urbano y Rural	Viviendas que requieren calefacción y grados día		
		Composición de los tipos de vivienda que requieren calefacción		
		Tamaño de los tipos de vivienda		Si
		Requerimientos de calefacción y/o aire acondicionado por tipo de vivienda	X	
		Pérdidas de calor por tipo de vivienda		
		Factores de vivienda: cocción, calentamiento agua y equipamiento		
		Penetración de formas energéticas	X	Si
		Eficiencias de formas energéticas		
		Factor de penetración por tecnología de calefacción		
	Servicios	Fuerza laboral en el sector servicios		
		Factores de calefacción y aire acondicionado		
		Intensidades energéticas para usos distintos a la calefacción		
		Penetración de formas energéticas		
		Eficiencias de formas energéticas		
	Generación	Calendario, temporadas y definición de días típicos		
Estructura de la electricidad suministrada por la red principal a cada sector				
Estructura de los clientes por sector				



		Datos requeridos en el periodo de estudio	LEAP	Información disponible
		Pérdidas de transmisión y distribución	X	Si
		Orden de Mérito por tipo central generadora	X	Si
		Coefficientes de carga para cada día de año según sector		

Fuente: Elaboración Propia

- (1) Se tiene la estructura sectorial del PIB pero se supondría una tasa de crecimiento
- (2) El LEAP no distingue entre viajes en la ciudad e inter ciudades
- (3) El LEAP considera un parque de vehículos y se asigna una tasa de crecimiento