



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA

2 0 0 9

Modelo de Proyección DEMANDA ENERGÉTICA NACIONAL DE LARGO PLAZO



SERIE DE ESTUDIOS ENERGÉTICOS / 02



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL
DE ENERGÍA

2 0 0 9

Modelo de Proyección DEMANDA ENERGÉTICA NACIONAL DE LARGO PLAZO

SERIE DE ESTUDIOS ENERGÉTICOS / 02

Resumen realizado sobre la base de estudio contratado por la Comisión Nacional de Energía al Programa de Gestión y Economía Ambiental del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, durante 2008.

Los contenidos y conclusiones de este estudio han servido de insumo para el trabajo de la Comisión Nacional de Energía, pero no necesariamente representan en su totalidad la opinión técnica de esta Comisión.

Índice

INTRODUCCIÓN	04
CAPÍTULO I: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN CHILE	06
1.1. Evolución de Consumo Final de Energía 1982-2006	07
1.2. Comportamiento de Consumo Sectorial	07
CAPÍTULO II: MODELOS ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL MUNDO	08
2.1. Clasificación y Categorías de Modelos Energéticos	09
2.2. Modelos de Estimación de Consumo de Largo Plazo	10
CAPÍTULO III: MODELO DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA CHILE	11
3.1. Propuesta General de Modelo de Proyección de Consumo Energético de Largo Plazo	13
3.2. Sectores Considerados	13
3.3. Modelos por Sector	14
3.3.1. Sector Industrial	14
3.3.1.1. Subsector Cobre	14
3.3.1.2. Subsector Papel y Celulosa	15
3.3.1.3. Subsector Cemento	15
3.3.1.4. Subsector Industrias y Minas Varias	16
3.3.1.5. Otros Sectores	17
3.3.2. Sector Comercial, Público y Residencial (CPR)	17
3.3.3. Sector Transporte	18
3.3.3.1. Subsector Transporte Terrestre	18
3.3.3.2. Subsector Transporte Aéreo	19
3.3.3.3. Subsector Transporte Marítimo	19
3.3.3.4. Subsector Transporte Ferroviario	19
3.4. Consumos Energéticos Agregados	19
CAPÍTULO IV: PROPUESTA PARA CONSTRUIR UNA CURVA DE DURACIÓN	21
4.1. Metodología General	22
4.2. Pasos para Estimar Demanda por Sistema	23
4.3. Aplicación	24

INTRODUCCIÓN



El presente estudio selecciona 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 interconectados Central (SIC) y del Norte Grande (SING).

Los objetivos específicos de este trabajo fueron:

- 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 a mayor obtención de información.
- Aplicar el modelo en escenarios razonables con información de disponibilidad inmediata, e indicar la información faltante para hacer una proyección completa.

Para responder a estos objetivos se revisó el consumo histórico de energía en Chile y la evolución del consumo sectorial y de los precios de las fuentes energéticas. Ello permite poner en contexto la evolución futura del consumo de energía final para cada sector y energético. También se analiza metodologías de modelación de variables energéticas usadas en el mundo y se diferencia los modelos según clasificación y categorías. En particular, se analizan los modelos de proyección de consumo de largo plazo.

Posteriormente, se describió los supuestos metodológicos para proyectar el consumo energético sectorial y agregado de largo plazo hasta el año 2030. Utilizando las proyecciones de consumo de energía eléctrica se propone y aplica una metodología que permite construir una curva de duración y estimaciones de demanda eléctrica diferenciada espacialmente entre el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

Capítulo I

Evolución del Consumo de Energía en Chile¹

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; comercial, público y residencial (CPR). Debido a la importancia del consumo minero conviene separarlo del industrial, considerando los subsectores cobre, hierro, salitre y minas varias².

Si bien el país ha experimentado un crecimiento significativo del consumo energético en la última década, los consumos específicos³ de cada sector se mantienen bajos comparados con los de países desarrollados.

La evidencia muestra que en Chile las posibilidades de crecimiento del consumo energético son elevadas. No obstante, para alcanzar los niveles de consumo de países desarrollados en los sectores residencial y de transporte tendría que duplicar su consumo específico. Lo mismo en el caso del consumo eléctrico por habitante, que es sólo la mitad del europeo y una quinta parte del norteamericano.

1.1. EVOLUCIÓN DE CONSUMO FINAL DE ENERGÍA 1982-2006

Entre 1980 y 2006 el consumo final de energía en Chile ha aumentado casi 3 veces, pasando de 79.791 tercalorías a 227.188.

Al examinar la evolución del consumo final de energéticos durante ese período (figura 1), se observa que el consumo de electricidad ha aumentado 5 veces, en tanto que el de gas natural se ha incrementado 11 veces. El consumo de leña crece 2,3 veces, mientras que el de derivados de petróleo 2,5 veces.

Se aprecia un aumento de la importancia relativa de la energía eléctrica, que parte en 1980 con un 11% de participación en el consumo final y alcanza un 19% en 2006. El gas natural también muestra un incremento - 1,4% a 7,4% - entre 1980 y 2004. Sin embargo, a contar de este último año su consumo relativo disminuye, llegando al 5,7% en 2006, al reducirse la disponibilidad del gas argentino.

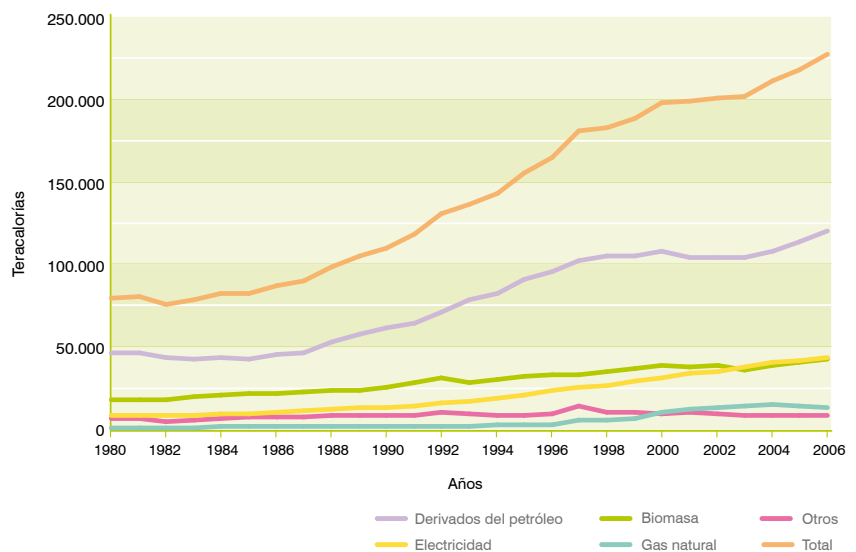
También se observa una tendencia a la baja en la importancia relativa del consumo de la leña y derivados del petróleo. En el caso de la leña, la disminución parte de 22% en 1980 y llega a 18,6% en 2006. En los derivados del petróleo, varía desde un 58% a un 53%.

1.2. COMPORTAMIENTO DE CONSUMO SECTORIAL

En términos generales, hay un aumento de la demanda energética en todos los sectores considerados en el período 1980-2006.

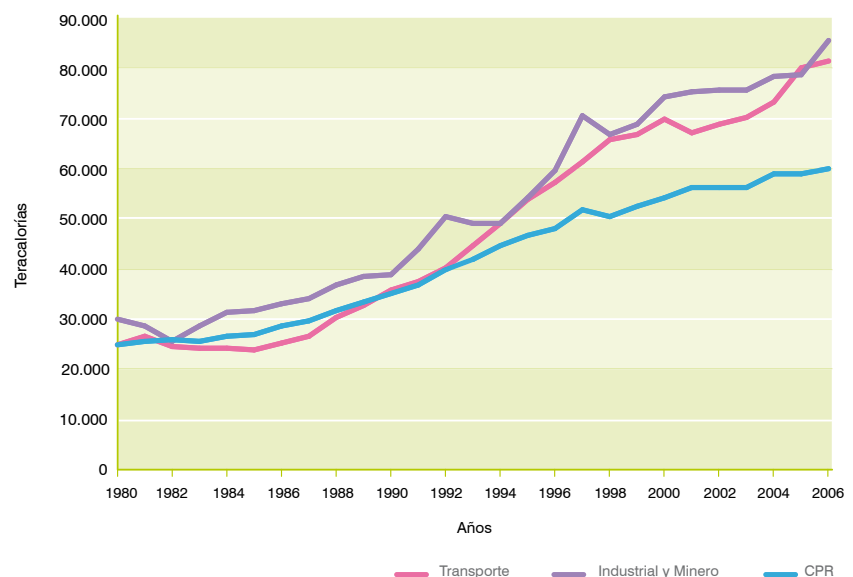
En el sector transporte el consumo de energía se triplica y en el sector residencial aumenta 2,4 veces respecto del año 1980. Casi de la misma manera el sector industrial minero triplica su consumo.

Figura 1: Evolución del consumo de energía final por energético (1982-2006).
Consumo Final de Energía por Energético



Fuente: CNE

Figura 2: Evolución del consumo de energía por sector.
Consumo Final de Energía por Sector



Fuente: CNE

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

2. Desafortunadamente, la separación de industrias varias y minas varias sólo existe desde 1997 lo que impide considerarlos en forma aislada para las regresiones que se especifican en los siguientes capítulos.

3. 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, con excepción del transporte.

Capítulo II

Modelos Energéticos Utilizados en el Mundo

A continuación se presentan distintos modelos energéticos que hoy se utilizan para analizar el impacto de políticas energéticas y planificación energética de mediano y largo plazo.

2.1. CLASIFICACIÓN Y CATEGORÍAS DE MODELOS ENERGÉTICOS.

Se ha desarrollado un gran número de modelos para llevar a cabo análisis de sistemas energéticos. Estos modelos se basan en enfoques distintos y utilizan una amplia gama de herramientas matemáticas, por ello se observan diversas formas de clasificarlos y entre las principales figuran las siguientes:

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

Clasificación Según Propósito/Objetivo del Modelo

Usando el criterio de propósito/objetivo los modelos energéticos pueden clasificarse en las categorías generales de Modelos de Demanda, Modelos de Oferta y Modelos de Sistemas.

Los de demanda tienen como principal función el pronóstico de ésta. En los modelos de oferta el objetivo es la predicción o planificación de oferta y los modelos de sistemas se utilizan para analizar el sistema energético en su totalidad, incluyendo oferta y demanda.

Clasificación Según Cobertura Espacial

En general, los modelos energéticos son desarrollados para propósitos de planificación nacional o de análisis de política global y, por tanto, una primera clasificación considera modelos nacionales y globales, aunque también existen los de carácter regional. Para estimaciones de demanda eléctrica hay resoluciones espaciales mucho más finas que pueden definirse a nivel de nodo o a través de grillas que suelen ser hexagonales.

Clasificación Según Enfoque de Modelación

Los principales enfoques de modelos utilizados para la evaluación de políticas, planificación de sistemas energéticos y realización de pronósticos son:

- Optimización
- Modelos Econométricos
- Modelos de Simulación y Equilibrio Parcial
- Modelos de Equilibrio General Computable (CGE)
- Modelos de Uso Final o Contabilidad
- Modelos Híbridos





2.2. MODELOS DE ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE LARGO PLAZO

Las metodologías de pronóstico de demanda de largo plazo más utilizadas corresponden a 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 permite estimar consumos multienergéticos de largo plazo (Craig et al, 2002).

A continuación se presentan las principales metodologías utilizadas para la estimación de la demanda energética de largo plazo. El cuadro siguiente presenta las ventajas, desventajas y requerimientos de información generales de cada tipo de metodología.

Cuadro 1: Ventajas, Desventajas y Requerimientos de Información de Metodologías de Proyección de Demanda

METODOLOGÍAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REQUERIMIENTO DE INFORMACIÓN TÍPICO
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 tendencias (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

Capítulo III

Modelo de Estimación de Consumo Energético para Chile



Los criterios utilizados para seleccionar un modelo de estimación de consumo de largo plazo se basan en cómo sus características responden a las necesidades del usuario y cómo la disponibilidad y calidad de los datos pueden permitir proyectar el consumo futuro de manera robusta.

Para proyectar el consumo energético la CNE busca un modelo con las siguientes características:

- Que permita proyectar el consumo de largo plazo.
- Que identifique los consumos sectoriales.
- Que permita proyectar el consumo desde una perspectiva multienergética.
- 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.

En este contexto, el modelo seleccionado 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 la 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 como, asimismo, 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.

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. Incorpora un enfoque de función de producción al relacionar la producción anual de cada subsector con consumos energéticos, sobre la base de la relación entre estos parámetros observada en el pasado. Así, 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 muchos datos tecnológicos.

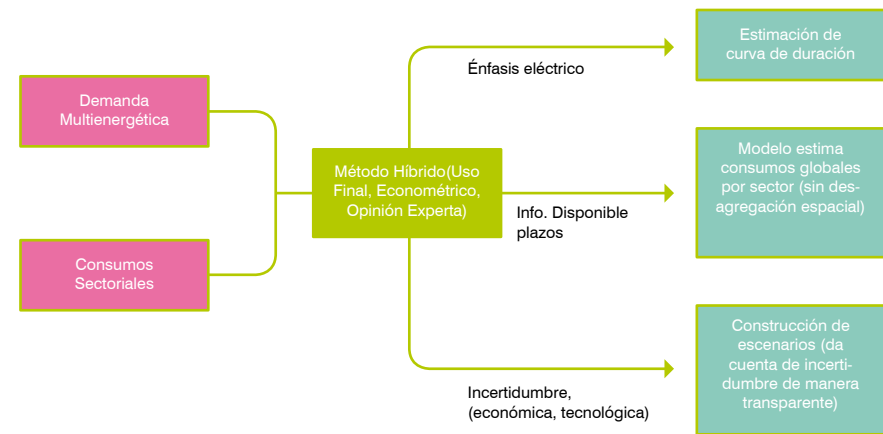
Las predicciones a largo plazo suelen suponer la existencia de relaciones estructurales y que éstas varían de manera gradual. Por el contrario, el mundo real presenta discontinuidades y eventos disruptivos que se hacen más probables mientras mayor es el horizonte del pronóstico. La existencia de esta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

Así se construye un escenario base (Business as usual, 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 intersectoriales e intrasectoriales.

Aplicando el enfoque propuesto se hacen proyecciones para los sectores Industrial y Minero; de Transporte; Comercial, Público y Residencial, basadas en correlaciones con variables cuya variación futura se puede estimar de manera relativamente simple. Para los subsectores energointensivos del sector industrial y minero se proyecta su producción futura sobre la base de 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 (PIB), variable con la cual resultaron estar estrechamente correlacionados. 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 se puede explicar por problemas en la medición de los datos entregados en el Balance de Energía y, por ello, se sugiere realizar más adelante un estudio específico del consumo actual y futuro de este energético por sector y de las tendencias esperadas.

Figura 3: Resumen de Características Generales del Modelo



Fuente: Elaboración propia

3.1. PROPUESTA GENERAL DE MODELO DE PROYECCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO DE LARGO PLAZO

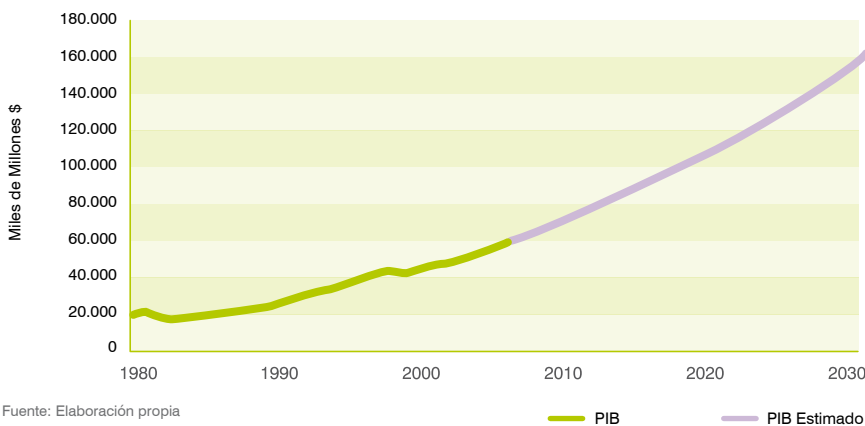
$$Y_t = \prod_i C \cdot P_{it}^{a_i}$$

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.

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 el tiempo, t y a_i es la elasticidad del consumo energético respecto de la producción tipo i en el sector o subsector tratado.

Para el sector comercial, público y residencial se emplea como proxy de la variable explicativa el PIB. Lo mismo en el subsector industrias y minas varias. En la figura 4 se muestra la evolución del producto interno bruto, considerado en este trabajo, con datos reales hasta 2006 y para los años siguientes se proyecta, en base a opinión experta, un crecimiento de un 5% al 2015 y de un 4% al 2030.

Figura 4: PIB real y estimado



Fuente: Elaboración propia

3.2. SECTORES CONSIDERADOS

Cada uno de los tres sectores considerados en las proyecciones: Comercial, Público y Residencial; Transporte, e Industrial y Minero está compuesto por subsectores con estructuras diferentes de consumo energético. Por ello, para hacer las estimaciones se desagregan los más importantes con sus respectivas agregaciones asociadas.

Cuadro 2: Desagregación de los sectores proyectados

SECTORES PROYECTADOS	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 taxis), Vehículos comerciales (Furgones y camionetas), Buses y Camiones
	Transporte marítimo	Transporte marítimo
	Transporte ferroviario	Transporte ferroviario
	Transporte aéreo	Transporte aéreo

Fuente: Elaboración propia basada en datos CNE

3.3. 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. A continuación se describen las principales estimaciones de consumo energético obtenidas para cada subsector.

3.3.1. SECTOR INDUSTRIAL

Este sector considera los subsectores cobre, cemento, celulosa y papel, industrias y minas varias, otros sectores.

3.3.1.1. Subsector Cobre

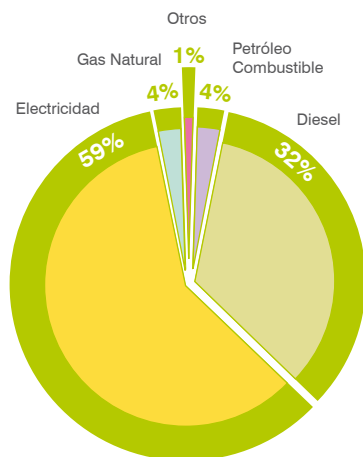
Los consumos energéticos del subsector Cobre -principalmente electricidad y diesel y en menor medida petróleo combustibles y gas natural- se relacionan de manera directa con la producción de cobre nacional. Para ser consistente con el enfoque econométrico de función de producción, se pueden utilizar por separado las producciones de cobre cátodo y de cobre concentrado como variable explicativa del consumo energético de largo plazo de este subsector. Para lo anterior se utilizan las proyecciones oficiales de COCHILCO de producción futura anual de cobre hasta el 2030.

En general, las estimaciones muestran un incremento promedio anual de 2.1% del consumo total de energía del subsector Cobre entre 2006 y 2030. Este porcentaje de aumento es bastante menor que el registrado para un periodo de tiempo similar. Entre 1982 y 2006 la tasa de crecimiento promedio anual fue de un 5.2%.

La figura 6 muestra las estimaciones hasta el año 2030 del consumo de energéticos por parte de este subsector. Al analizar las tasas de crecimiento promedio anual para el período 2006-2030, se esperan los siguientes niveles de consumo por energético:

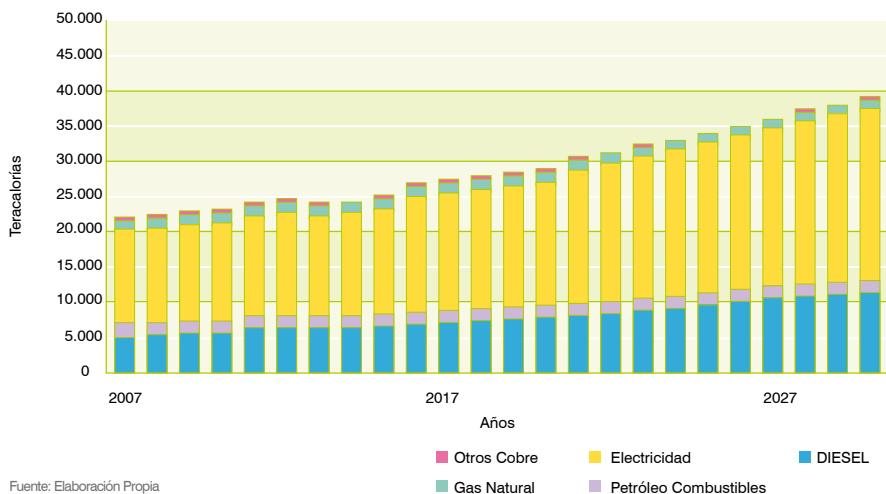
- Electricidad aumenta un 2,9%.
- Gas natural se mantiene en el nivel de 2006
- Diesel crece un 2,9%.
- Otros energéticos presenta tasa de disminución anual de -2,6%
- Petróleos combustibles cae un -0,9%.

Figura 5: Consumo del subsector cobre



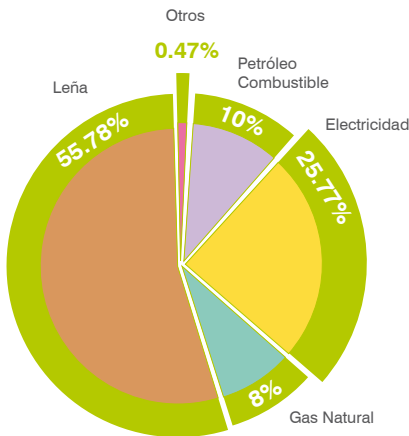
Fuente: Elaboración Propia Basada en Datos CNE

Figura 6: Consumo Cobre 2007-2030



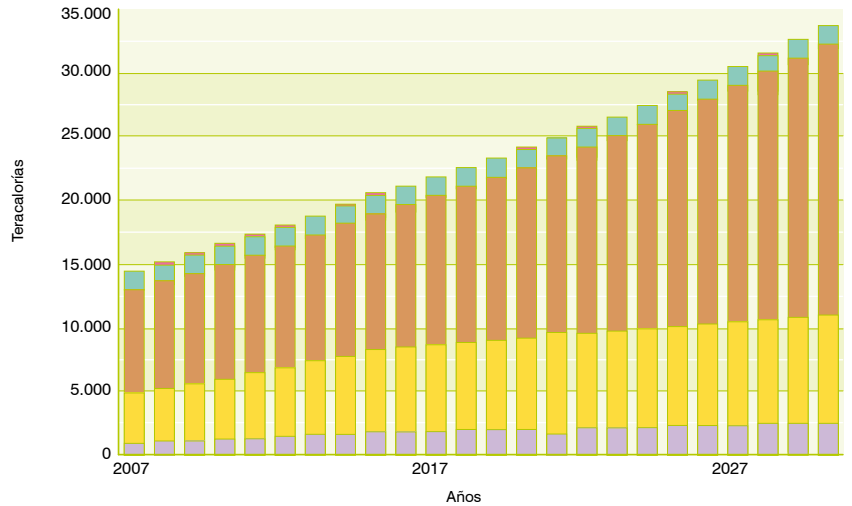
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7: Consumo Papel y Celulosa



Fuente: Elaboración Propia Basada en Datos CNE

Figura 8: Consumos Papel y Celulosa, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

■ Otros papel y celulosa ■ Gas Natural ■ Leña ■ Electricidad ■ Petróleo Combustibles

La estructura de consumo de energéticos en el sector del cobre ha cambiado de manera importante. Entre 1982 y 2006 se redujo fuertemente la dependencia de petróleos combustibles y otros combustibles para transformarse en un sector 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 para el año 2030 aumente la intensidad en el uso de electricidad y se mantenga la importancia relativa de petróleos combustibles y diesel, mientras que la de gas natural disminuirá.

3.3.1.2. Subsector Papel y Celulosa

Los consumos energéticos del subsector Papel y Celulosa se relacionan de manera directa con su producción. Así, como variable explicativa del consumo energético de largo plazo se utilizan las proyecciones de producción de papel, celulosa y madera aserrada. Y para proyectar los 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 sector.

Los consumos energéticos de este subsector para el año 2006 son básicamente de leña, electricidad, petróleos combustibles y gas natural. En la importancia relativa de cada energético se destaca el consumo de leña.

Las estimaciones muestran un incremento de un 3% promedio anual del consumo total de energía del subsector Papel y Celulosa en el período 2007-2030. Este crecimiento es inferior al del consumo total de energía (4,7% promedio anual) para el período 1982 y 2006 lo que se explica por la incorporación de criterios de agotabilidad en la producción de madera.

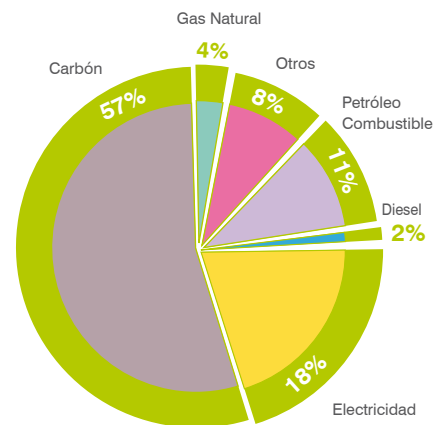
La figura 8 presenta las estimaciones de los distintos consumos de energéticos del subsector papel y celulosa para el período 2007-2030.

Al analizar los consumos esperados por energético para el período 2006-2030, se presentan los siguientes niveles de crecimiento promedio anual:

- Electricidad un incremento de un 3,3%.
- Petróleos combustibles un crecimiento de 2,3%.
- Gas natural se mantiene en el nivel de 2006
- Leña un incremento de 4,4%.
- Otros energéticos una tasa de disminución del -2,1%.

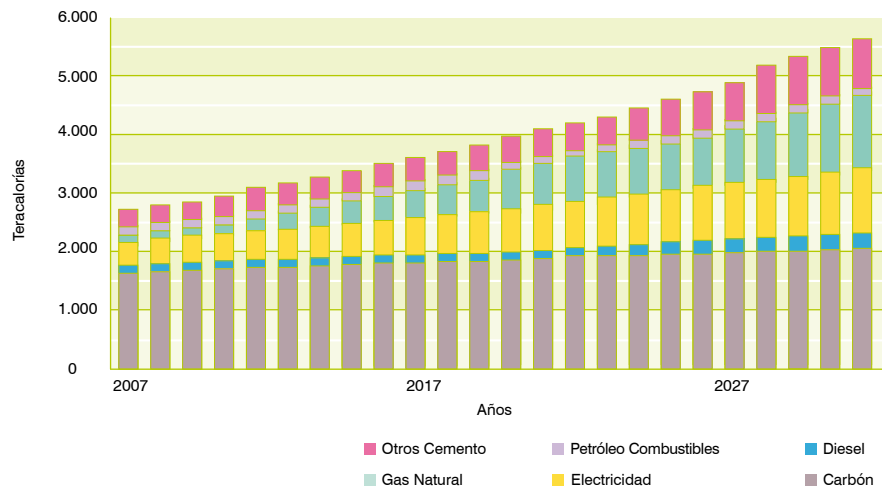
Entre 1982 y 2006 la estructura de consumo en este subsector cambia debido a que se redujo la dependencia de leña, aumentó el consumo eléctrico y se incorporó el gas natural. Según las proyecciones de largo plazo se espera que para el año 2030 aumente el uso de leña y se reduzca el consumo relativo de gas natural y de petróleo combustible.

Figura 9: Consumo Cemento



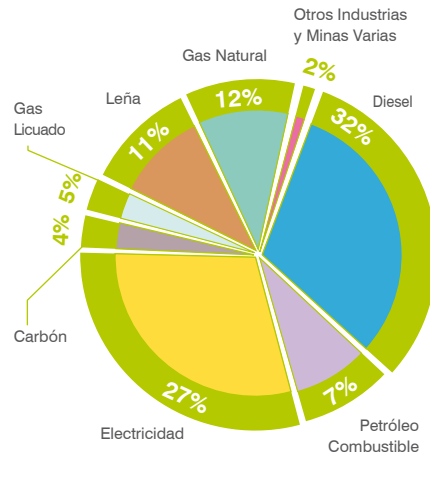
Fuente: Elaboración Propia Basada en Datos CNE

Figura 10: Consumos Cemento, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11: Consumo Industrias y Minas Varias



Fuente: Elaboración Propia Basada en Datos CNE

3.3.1.3. Subsector Cemento

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

En los últimos 15 años la producción de cemento ha mostrado una tasa de crecimiento promedio anual de un 5%. El modelo para la proyección futura se desarrolla en función del nivel de actividad esperado (PIB). Con tal supuesto, se obtiene una tasa de crecimiento de la producción de cemento de un 4.2% promedio anual.

Los consumos energéticos de este sector son básicamente de carbón, electricidad, petróleos combustibles, gas natural, y diesel. Dentro de la importancia relativa de cada energético, el carbón representa cerca del 60% del consumo total de energía.

Los resultados muestran un incremento pro-medio anual de 2.9% en el consumo total de energía para el subsector Cemento durante el período 2006-2030. Esto representa una disminución con respecto al crecimiento de un 5% generado entre 1982 y 2006.

En la figura 10 se grafican las estimaciones del consumo energético de este sector para el período 2007-2030.

Para el período 2006-2030 se espera que el crecimiento promedio anual del consumo por energético sea el siguiente:

- Electricidad aumenta un 3,8%.
- Diesel aumenta un 5,8%.
- Gas natural se mantiene en el nivel de 2006
- Carbón aumenta 1,2%.
- Petróleos combustibles aumenta un 8%.
- Otros energéticos aumenta un 5,5%.

Entre 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 (de 1% a 11%), de la electricidad (de 13% a 18%) y del gas natural y otros energéticos.

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

3.3.1.4. 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. Por ello 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 este subsector son leña, electricidad, gas licuado y natural, carbón y petróleos combustibles. La electricidad y el diesel representan en conjunto un 60% del consumo.



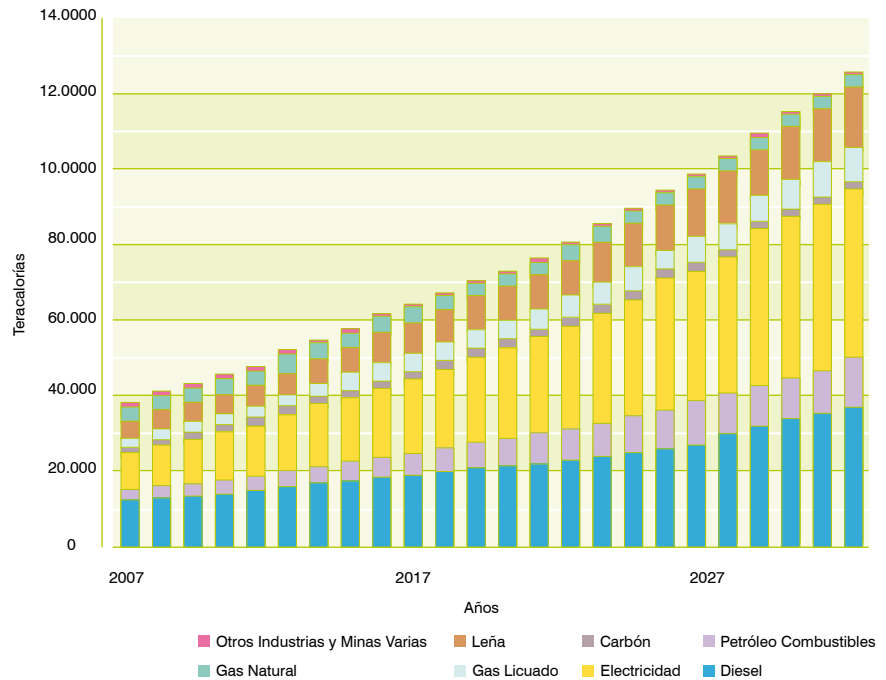
Las estimaciones muestran que frente a un incremento promedio anual de un 6,3% en el consumo total de energía del subsector entre 1982 y 2006, en el período 2007-2030 el aumento del consumo ocurre a una tasa de 5,8%.

La figura 12 grafica en conjunto las estimaciones (2007-2030) de los distintos consumos del subsector industrias y minas varias.

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes crecimientos promedio anuales de consumo por energético:

- Electricidad aumenta un 6,8%.
- Diesel crece un 5,3%.
- Gas licuado se incrementa un 6,5%.
- Carbón aumenta un 1,9%.
- Leña crece un 5,3%.
- Petróleos combustibles aumenta un 3,9%.
- Gas natural se mantiene en el nivel del año 2006
- Otros energéticos aumenta un 0,3%.

Figura 12: Consumos Industrias y Minas Varias, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la evolución de la estructura de consumo en el subsector, entre 1982 y 2006 el consumo de gas natural aumenta considerablemente su importancia relativa, sustituyendo parcialmente a la leña y a los petróleos combustibles. El consumo relativo de leña disminuye de 16% a 11% y el de petróleos combustibles de 25% a 7%, mientras que el consumo relativo de gas natural aumenta de 1% a 12%. Los consumos de gas licuado, diesel y electricidad, en tanto, también aumentan su importancia relativa pero en menor grado (de 3% a 5%, de 24% a 32% y de 22% a 27%, respectivamente). El carbón, en tanto, disminuye levemente su importancia relativa (de 5% a 4%).

Entre 2006 y 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 aumento del consumo relativo de petróleos combustibles (de 7% a 11%), electricidad (de 27% a 34%) y leña (de 11% a 13%).

3.3.1.5. Otros Sectores

“Otros sectores” está compuesto por los sectores de salitre, hierro, siderurgia, petroquímica, azúcar y pesca. El consumo de energéticos corresponde al 11% del total del sector industrial y minero. Debido a su tamaño, los consumos de los distintos energéticos serán proyectados en forma conjunta y modelados utilizando el PIB como variable explicativa. En este caso, la tasa de crecimiento histórica en el período 1982-2006 fue de un 3,3% mientras que para el período 2006-2030 se espera un crecimiento promedio anual de un 2,3%.

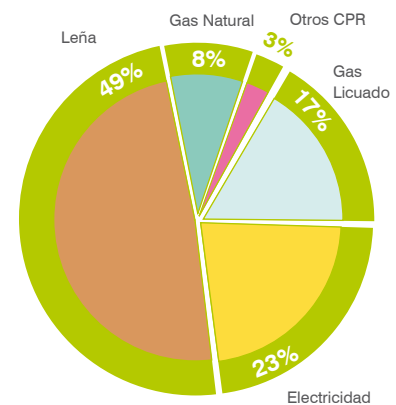
3.3.2. SECTOR COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL (CPR)

Los consumos energéticos de este sector 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. Por ello 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 consumos de este subsector son básicamente leña, electricidad, gas licuado y gas natural. Dentro de la importancia relativa de cada energético se destaca la leña con un 49% de participación.

Los datos históricos muestran que el consumo total se ha incrementado un 3,9% promedio anual entre 1982-2006, mientras que para el período 2006-2030 el consumo crece a una tasa promedio anual de 3,8%.

Figura 13: Consumo Subsector CPR: 2006



Fuente: Elaboración Propia Basada en Datos CNE

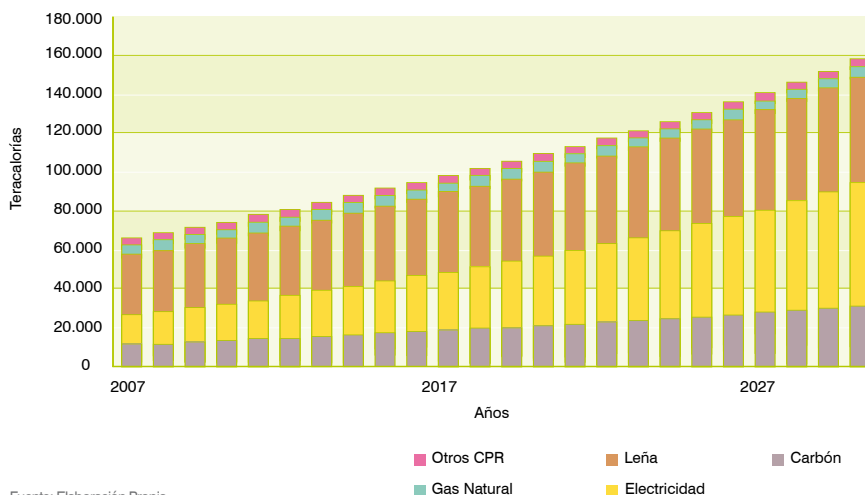
Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes niveles de consumo promedio anuales por energético:

- Electricidad aumenta un 6,5%.
- Gas licuado crece un 3,3%.
- Gas natural se mantiene en el nivel de 2006.
- Leña crece un 2,5%.
- Otros energéticos presenta una caída anual del -0,3%.

La evolución de la estructura de consumo en el subsector muestra que entre 1982 y 2006 aumentó considerablemente el consumo relativo de electricidad (de 12% a 21%). También aumenta el consumo relativo de gas natural (de 4% a 8%), mientras que el de gas licuado disminuye su importancia (de 21% a 15%) y algo similar sucede con la leña (de 50% a 45%).

Para el período 2006-2030 se espera un importante aumento del consumo relativo de electricidad (de 21% a 40%), con la consecuente disminución en los consumos relativos de leña (de 45% a 35%), gas natural (de 8% a 3%) y otros energéticos (de 11% a 2%). Se espera también un aumento en la importancia relativa del gas licuado (de 15% a 20%).

Figura 14: Consumos CPR, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. SECTOR TRANSPORTE

Las proyecciones del consumo del sector transporte son analizadas para cada uno de los subsectores que lo componen: terrestre, marítimo, aéreo y ferroviario. El consumo energético de los tres últimos subsectores es proyectado con un modelo econométrico. El consumo del sector transporte terrestre, en tanto, se proyecta utilizando una metodología híbrida, en parte econométrica y en parte de uso final.

3.3.3.1. Subsector Transporte Terrestre

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

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



El parque de vehículos, en general, tiene estrecha relación con el nivel de actividad de la economía. Por lo tanto, en los cuatro casos la proyección se puede hacer relacionándola con éste como determinante de largo plazo.

Así, los consumos energéticos del sector transporte terrestre -fundamentalmente de gasolina (42%) y diesel (57%)- para el largo plazo quedan determinados por su relación con el parque de vehículos.

Las proyecciones del consumo de gasolina del sector de transporte terrestre se desarrollan con un modelo econométrico, mientras que para estimar el consumo de diesel se utilizan dos métodos en forma separada. El primero 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. Una vez estimados los consumos de Diesel con las dos metodologías, se suman ambos resultados.

3.3.3.2. Subsector Transporte Aéreo

El sector de transporte aéreo consume principalmente kerosene de aviación que corresponde al 99.1%⁴. Por tal motivo, se analiza únicamente la evolución de este componente energético.

En particular, el kerosene de aviación presenta una buena correlación con el PIB y por ello se elige esa variable como explicativa del consumo energético en el sector.

3.3.3.3. Subsector Transporte Marítimo

El consumo asociado al transporte marítimo esta claramente marcado por dos energéticos: petróleos combustibles, que representa el 81% y diesel, con el 19% del consumo total⁵. También se consume kerosene y gasolina, aunque con una participación muy reducida por lo que no serán incluidos en el análisis. Ambos consumos son estimados utilizando como variable explicativa el PIB.

3.3.3.4. Subsector Transporte Ferroviario

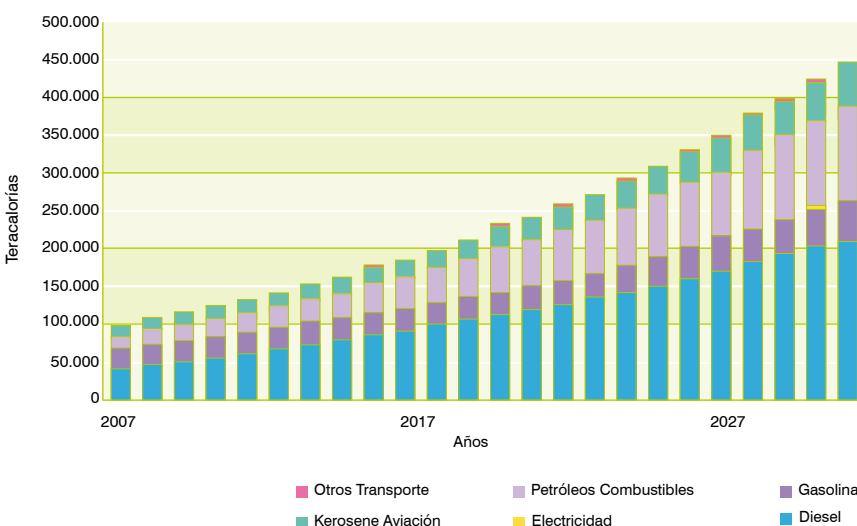
El sector de transporte ferroviario consume dos tipos de energéticos. El 76% corresponde a diesel y un 24% a electricidad. Estos dos consumos se correlacionan con el PIB por lo que se usa esta variable para desarrollar las proyecciones.

Resumen de Consumos Energéticos en Transporte

Agregando las distintas estimaciones, podemos graficar (figura 15) las estimaciones 2007-2030 en conjunto para los distintos consumos del sector Transporte.

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. Esta tasa es mayor al crecimiento del consumo total para el período 1982-2006 que registró un promedio anual del 5.2%.

Figura 15: Consumos Transporte, 2007-2030



Fuente: Elaboración Propia

Para el período 2006-2030 se esperan los siguientes niveles de consumo por energético:

- Electricidad una caída de -1,5%
- Gasolina un incremento de 3,3%.
- Kerosén de aviación crece 8,9%.
- Diesel una tasa de crecimiento de 7,8%.
- Petróleos combustibles un aumento de 9,3%.
- Otros energéticos cae anualmente un -5,4%.

La estructura de producción presentada por el sector de transporte en 1982 se centraba en el consumo de tres energéticos: Gasolina (53%), Diesel (38%) y Kerosene de aviación (8%). Al año 2006 esta estructura muestra un mayor grado de diversificación debido a la inclusión de petróleos combustibles (pasa de un 1% a un 18%) que ha sustituido fundamentalmente a gasolina (disminuye del 53% al 29%).

Para el período 2006-2030 se espera que siga creciendo la participación de petróleos combustibles (de 18% a 28%) sustituyendo a la gasolina (cuya participación cae del 29% al 11%). Asimismo, se prevé que aumente la participación del kerosene de aviación (del 9% al 13%) y que el consumo de diesel se incremente fuertemente (de un 38% a un 43%).

3.4. CONSUMOS ENERGÉTICOS AGREGADOS

El propósito es ofrecer una visión agregada de las proyecciones obtenidas en el período 2007-2030. Para ello se estudia el consumo energético nacional y se analiza su evolución según tipo de combustible, agregando los sectores involucrados. En el caso de los energéticos más consumidos en el país se presenta la evolución de su consumo por sectores durante el período considerado. Debe notarse que estas proyecciones no incorporan el impacto

4. Según el balance de energía del año 2006.

5. Expresado en tercalorías según el balance de energía del año 2006.

posible de las medidas de eficiencia energética que se han comenzado a implementar.

Consumo Nacional por tipo de Combustible, 2007-2030

En la figura 16 se presenta el consolidado anual del consumo multifactorial por tipo de combustible durante el período 2007-2030.

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, petróleos combustibles, electricidad y leña, representando en conjunto entre un 69% (para 2007) y un 78% (para 2030) del consumo total.

El consumo relativo de diesel y petróleos combustibles aumenta (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, tienden a bajar (electricidad disminuye su importancia relativa de 18,5% a 18,1% y leña, de 18% a 11%).

Con respecto al crecimiento del consumo, los energéticos que lideran el aumento son petróleos combustibles con una tasa anual de 8,9% y diesel con 6,5%. Los consumos de carbón y kerosene muestran una tendencia constante durante el período.

Consumo Nacional por Sector, 2007-2030

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

Como se observa en la figura anterior, transporte lidera el consumo de energéticos con el 38% del consumo agregado en 2007 y se proyecta hacia el 2030 con una participación aún mayor: 53,8%. 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%.

CPR, en tanto, es el segundo sector en orden de importancia relativa. Su consumo en el año 2007 conforma un 26,4% del agregado sectorial. Sin embargo, se espera una disminución gradual de su importancia relativa y que en el 2030 represente el 19% del total, con una tasa de crecimiento de 3,8% anual.

Las proyecciones indican que el consumo relativo

del sector industria y minas varias se mantiene en torno al 15% durante todo el período pero se espera que aumente su promedio anual de 5,3% en el consumo de energéticos.

Con respecto a los demás sectores, que en conjunto representan el 20,3% del consumo total en el año 2007, se baraja que cada uno de ellos disminuya su participación relativa y hacia el 2030 representen 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 anual de 2,6%.

Figura 16: Consumo nacional por tipo de combustible, 2007-2030

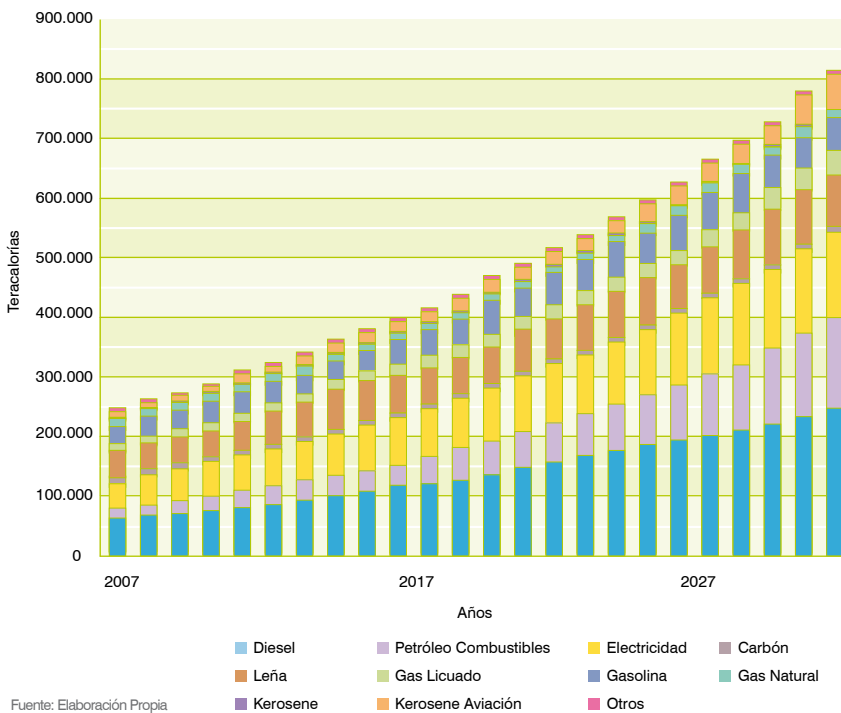
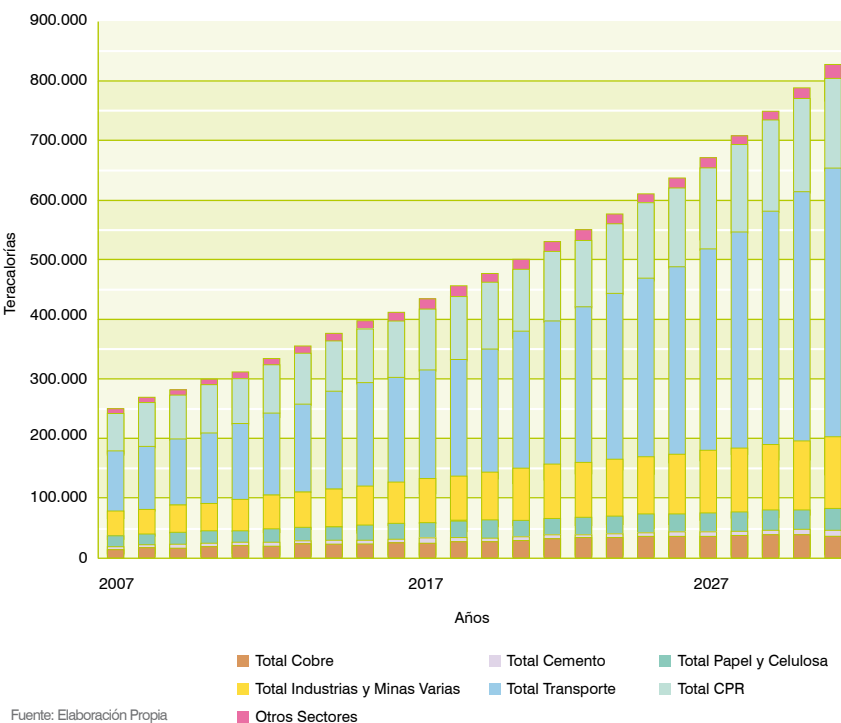


Figura 17: Consumo nacional de energéticos por sector, 2007-2030



Capítulo IV

Propuesta para Construir una Curva de Duración

Para planificar el desarrollo del sector eléctrico es importante relacionar la energía promedio anual con la demanda (potencia) media y máxima requerida para satisfacerla. Con este objetivo 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.

4.1. METODOLOGÍA GENERAL

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

- Abordar un horizonte de análisis hasta el año 2030.
- Proyectar el consumo anual de energía y las demandas máximas que enfrentaría el sistema.
- Hacer uso del modelo de proyección propuesto en este trabajo.
- Distinguir los consumos esperados del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC).
- Permitir un análisis de sensibilidad de los parámetros críticos.

El modelo de proyección propuesto en este trabajo es capaz de estimar consumos anuales de energía eléctrica para los sectores de Transporte, Industria y Minería, CPR y Otros Sectores. Además, en cada sector 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:

Un primer elemento a determinar es el 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 se unan.

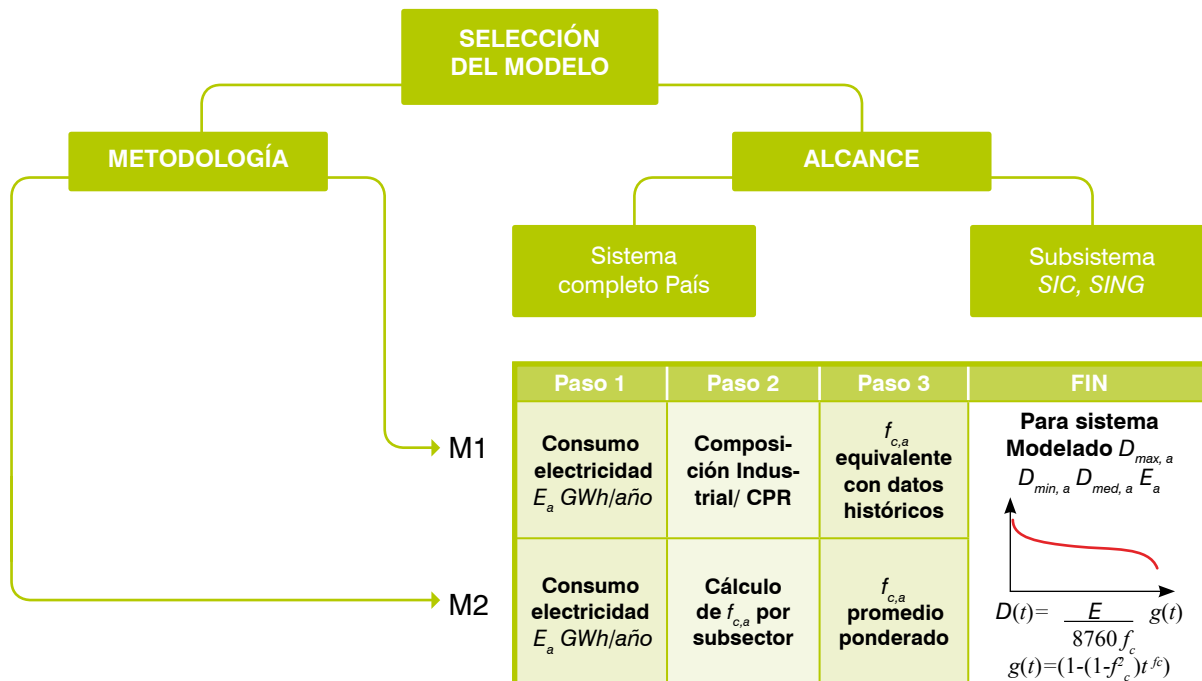


TRANSELEC

Las curvas de carga (diaria, semanal, anual, según sea el período abordado) se usan para considerar las variaciones lentas a lo largo del tiempo. Una forma típica para un sistema grande es la que se grafica en la siguiente figura (derecha), 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.

4.2. PASOS PARA ESTIMAR DEMANDA POR SISTEMA

Figura 18: Modelaciones alternativas



Fuente: Elaboración Propia

Del modelo de proyección de consumos propuesto en este trabajo se dispone de una estimación global del relativo a 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). Su resultado puede utilizarse para estimar un factor de carga del subsistema seleccionado. En particular, se han calculado factores de carga históricos para el SING y el SIC y para el sistema conjunto suponiendo un factor de coincidencia unitario.

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:

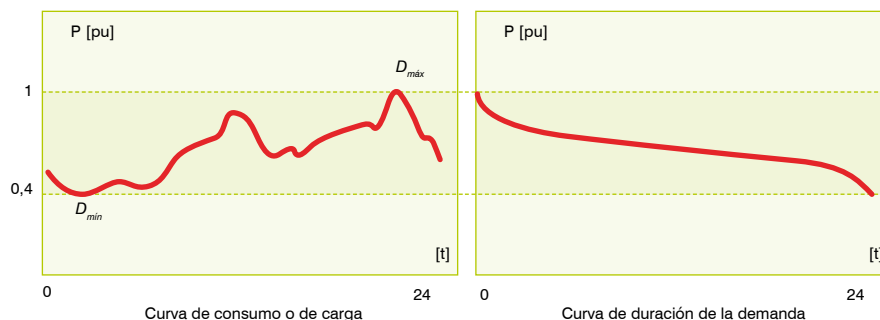
- Factor de carga SIC de 0,744.
- Factor de carga SING de 0,87.

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.

A través del conocimiento actual de los factores de carga de nuestros subsistemas y de su composición industrial/CPR, se puede establecer una relación lineal entre éstas. Estimando una composición futura de los consumos, es factible estimar el factor de carga del sistema o subsistema (paso 3).

Consecuentemente, se pueden conocer para cada año de estudios los valores de D_{max} , D_{min} , D_{med} .(paso 4).

Figura 19: Representación de la demanda



Fuente: Elaboración Propia

4.3. APLICACIÓN

En este punto se describe la aplicación metodológica propuesta para poder realizar una proyección de la demanda máxima por sistema (SIC, SING), que está basada en la implementación de la metodología 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 en determinar la composición CPR (%) e Industrial (%) de cada sistema. Con este objetivo, a partir de la desagregación por sectores disponibles para los pronósticos de consumo de energía eléctrica, se asocia cada uno de estos consumos sectoriales a los respectivos sistemas interconectados (SIC ó SING).

Los sectores Papel y Celulosa, Cemento y Otros se asocian a un solo sistema -en este caso el SIC-, por lo que la asociación es directa.

Figura 20: Factores de carga y participación sectorial del consumo SING

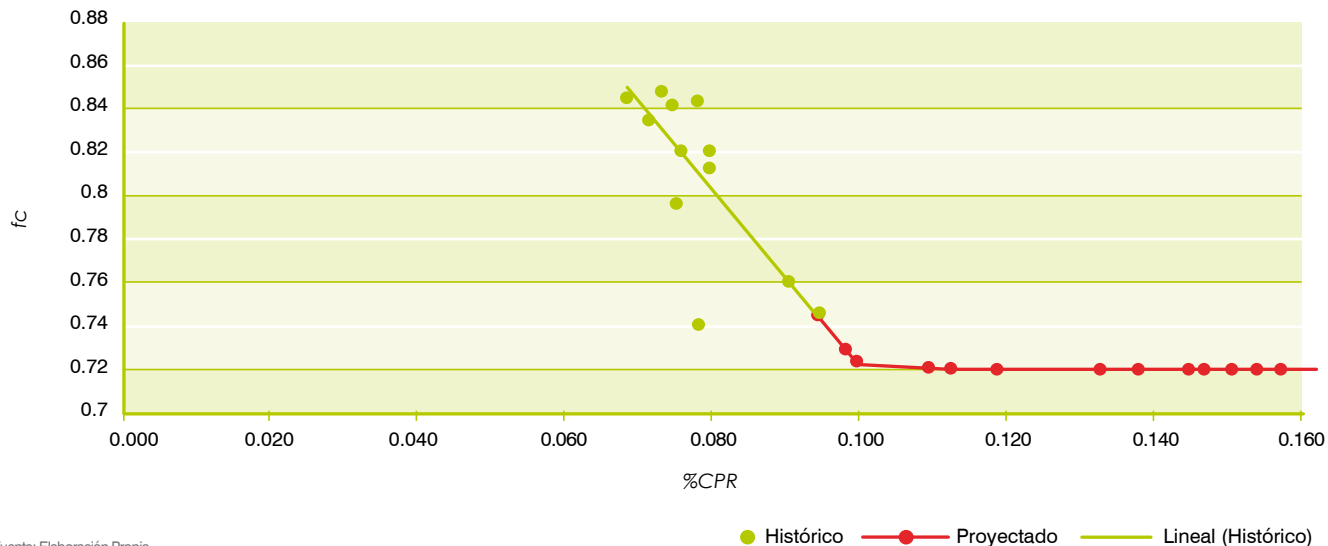
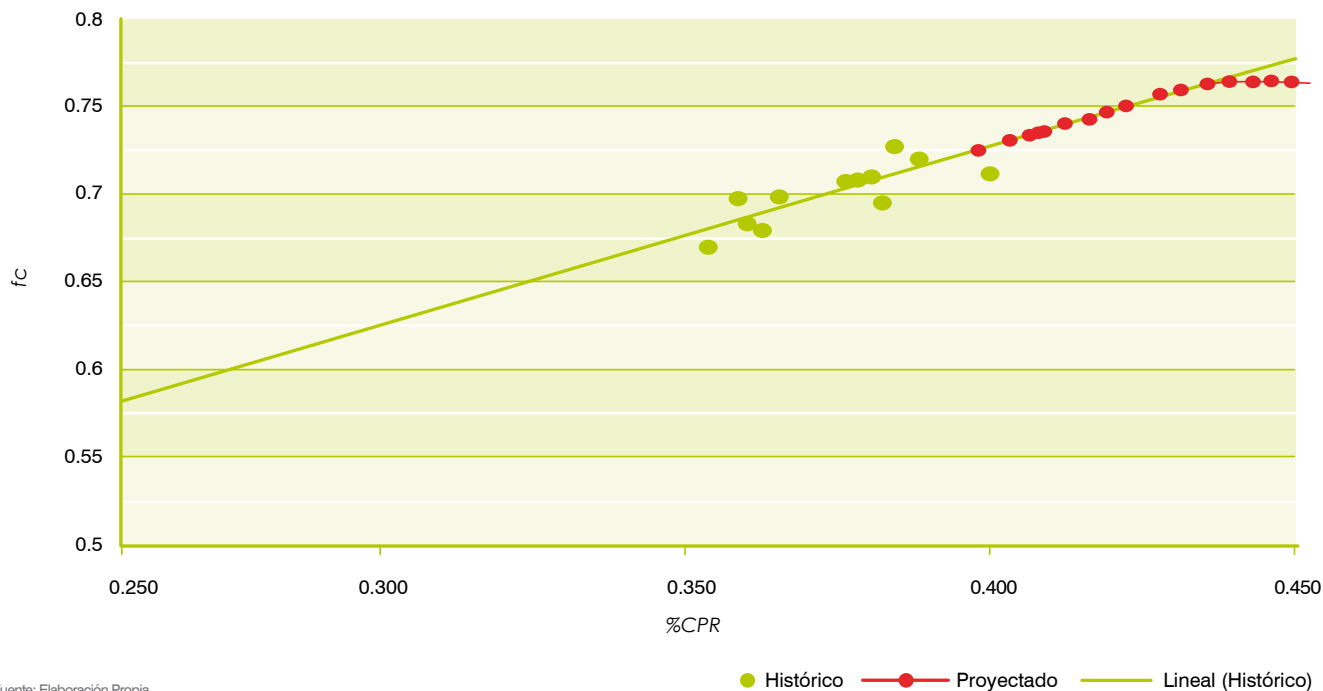


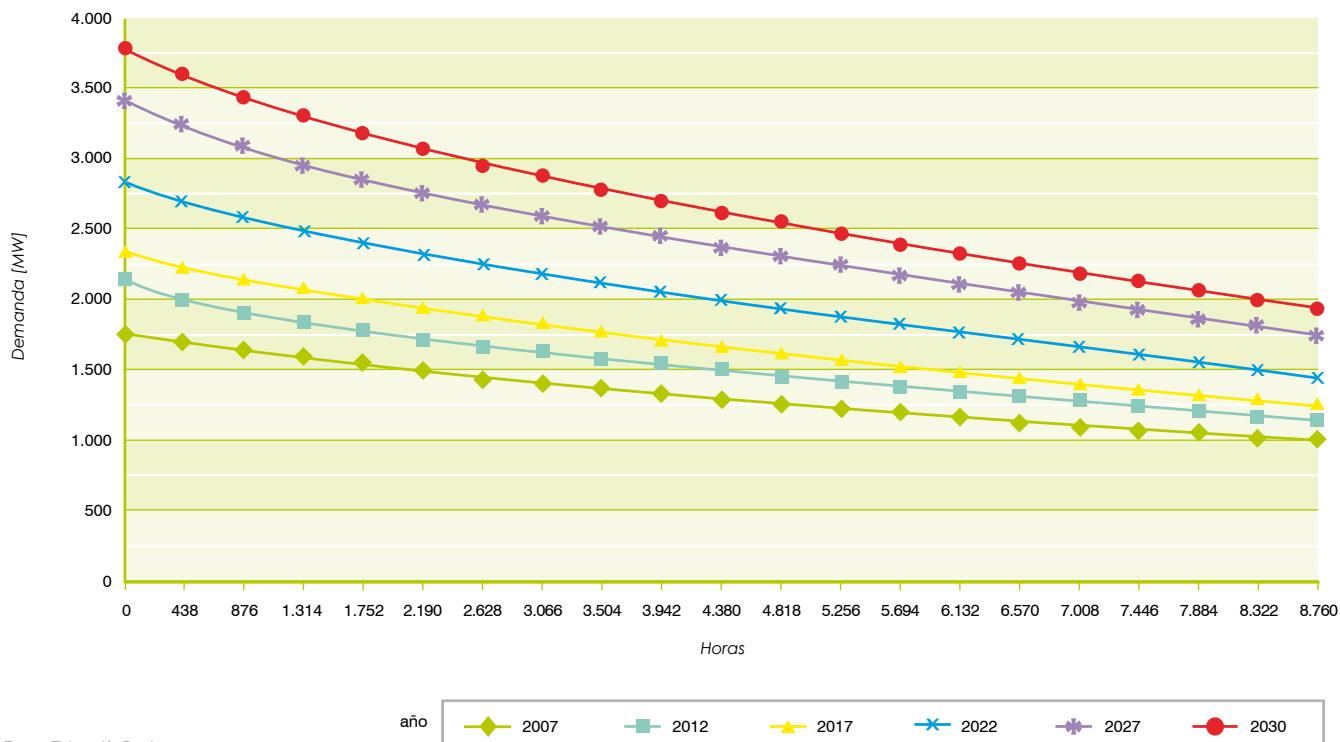
Figura 21: Factores de carga y participación sectorial del consumo SIC





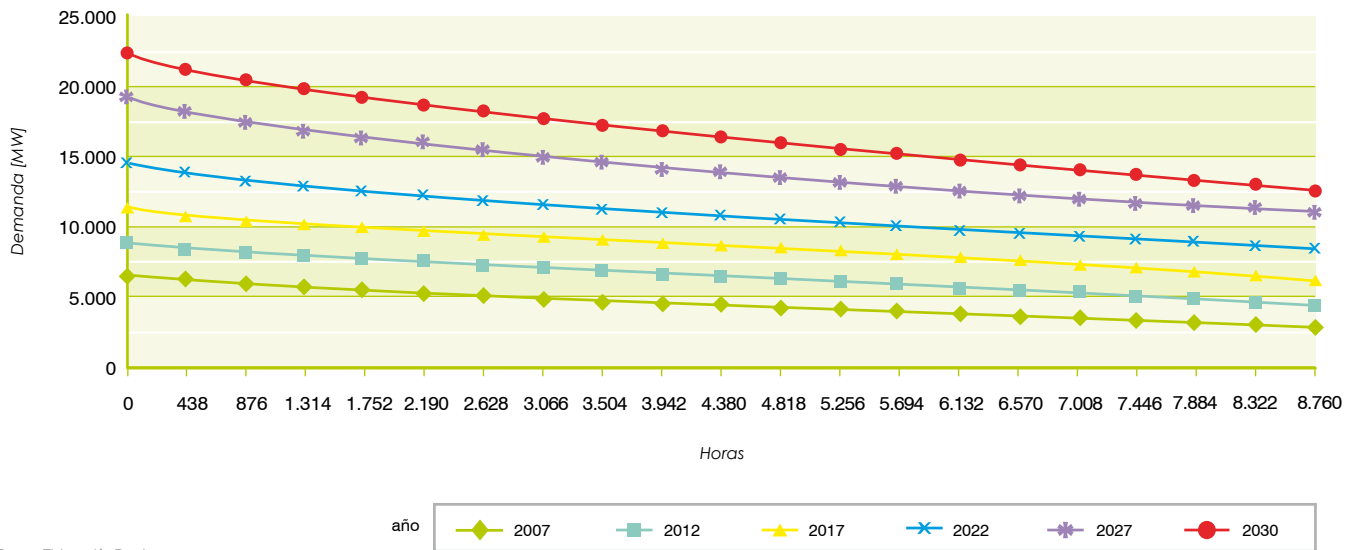
El consumo de los sectores CPR, Minería, e Industria y minas varias debe distribuirse entre ambos sistemas. Esto es algo más complejo. De acuerdo a lo descrito, para el sistema SIC en el año 2006 la proporción de consumo del sector CPR es de 38,8% y la componente industrial corresponde al 62,2% restante. 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. Así se puede generar un conjunto de puntos para cada sistema, sobre los cuales se proyecta una línea recta que permite 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 siguientes figuras muestran las rectas obtenidas para cada sistema y los valores de factor de carga proyectados para cada uno de ellos.

Figura 22: Curvas de duración anual SING (2007/2030)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: Curvas de duración anual SIC (2007/2030)



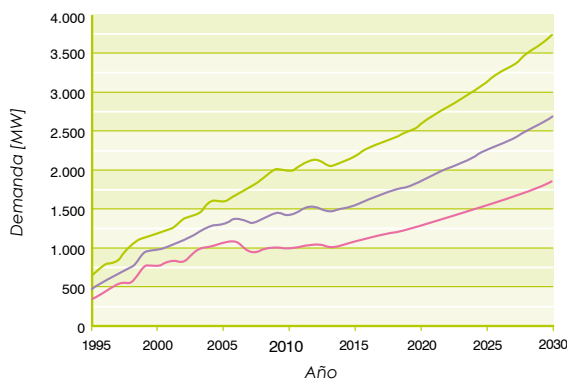
Fuente: Elaboración Propia

Las figuras 22 y 23 muestran las curvas de duración obtenidas para SING y SIC, respectivamente, para los años comprendidos en el período bajo estudio en intervalos de 5 con el fin de facilitar su observación.

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 24 y 25 muestran las proyecciones por sistema interconectado.

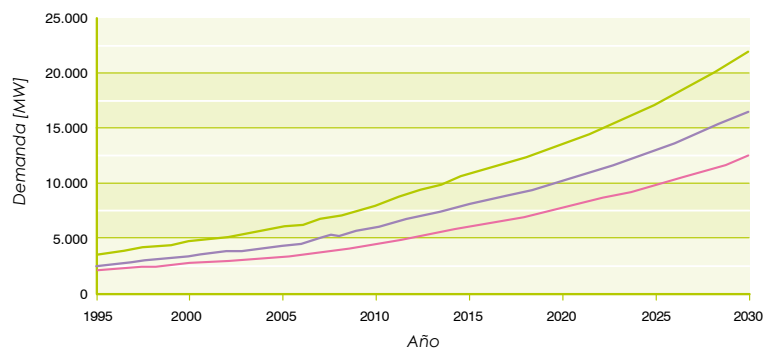
Los resultados muestran que la demanda eléctrica media del SIC se más que triplicará, pasando de 5.000 MW el 2007 a casi 17.000 MW el 2030 y la máxima de casi 7.500 MW a 22.000 MW en el mismo periodo. Para el SING, la demanda media (máxima) se duplicará, pasando de 1.400 MW (2.000 MW) a casi 2.700 MW (3.750 MW) en el periodo.

Figura 24: Proyección de la demanda SING



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Proyección de la demanda SIC



Fuente: Elaboración Propia

Serie de Estudios Energéticos

Contextos y Enseñanzas Internacionales
DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA ENERGÉTICA PARA CHILE

Modelo de Proyección
DEMANDA ENERGÉTICA NACIONAL DE LARGO PLAZO

Propuesta Alternativa e Integral de Plan de Manejo y
Conservación de la Especie
STERNA LORATA, GAVIOTIN CHICO O CHIRRIO

Análisis de Alternativas Tecnológicas
COLECTORES SOLARES EN ESCUELAS
O INTERNADOS RURALES

Regulación Comparada
ASPECTOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD
EN LA EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA

Marco Normativo y Procedimientos
CONSUMO DE BIOCOMBUSTIBLES EN CHILE

Análisis de Localizaciones
CENTRALES DE GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA
CON COMBUSTIBLES SÓLIDOS

Aplicación en el Sistema Interconectado Central
MODELOS DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA



GOBIERNO DE CHILE
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA

Comisión Nacional de Energía
Gobierno de Chile
Alameda 1449, pisos 13 y 14,
Edificio Santiago Downtown II
Fono: 365 68 00
www.cne.cl