



*Al servicio  
de las personas  
y las naciones*



**INFORME FINAL**

# **“ESCENARIO LÍNEA BASE DE EMISIONES GEI DEL SECTOR COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL”**

PNUD SDP 111/2012



**JUNIO 2013**

## Autores

Marcelo Mena Carrasco, Ingeniero Civil Bioquímico, MSc, PhD.

Cristián Yañez Otárola, Ingeniero Civil Industrial, MSc.

José Ignacio Medina Guzmán, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables.

Cristóbal Muñoz Baraño, Ingeniero Civil Industrial, MSc.

## Contenido

Resumen Ejecutivo .....	4
1 Introducción .....	9
2 Revisión bibliográfica de estudios disponibles al 2012 .....	12
2.1 Situación del sector CPR a diciembre de 2006 .....	12
2.2 Revisión bibliográfica de estudios relevantes .....	16
2.3 Análisis detallado de la información disponible para el sector.....	18
2.3.1 Sector Residencial .....	18
2.3.2 Sector Comercial y Público .....	19
2.4 Revisión de modelos de proyección de emisiones .....	20
2.4.1 Modelos econométricos.....	20
2.4.2 Modelos analíticos .....	21
3 Levantamiento y análisis crítico de información.....	26
3.1 Sector Residencial .....	26
3.2 Sector Comercial y Público .....	27
4 Modelo de proyección de emisiones al 2050.....	28
4.1 Caracterización de la situación base de los sectores Comercial, Público y Residencial ...	28
4.1.1 Sector Residencial .....	28
4.1.2 Sector Comercial y Público .....	36
4.1.3 Relación sector CPR con el uso de suelo .....	40
4.2 Definición de categorías por sector .....	44
4.2.1 Sector Residencial .....	45
4.3 Variables explicativas .....	46
4.3.1 Población .....	46
4.3.2 PIB per cápita .....	48
4.3.3 Habitantes por vivienda .....	48
4.3.4 Zonificación térmica, tipo de vivienda y sistema eléctrico .....	52
4.3.5 Tenencia de artefactos y consumo de combustibles .....	55
4.3.6 Proyección del mix de combustibles .....	66
4.4 Aplicación del modelo a cada sector.....	70

4.4.1	Sector Residencial .....	70
4.4.2	Sector Comercial y Público .....	85
4.5	Poderes Caloríficos y Factores de Emisión .....	97
4.6	Resultados .....	99
4.6.1	Consumos energéticos .....	99
4.6.2	Emisiones.....	107
4.7	Escenarios, sensibilizaciones y comparaciones.....	108
4.7.1	Escenarios de PIB.....	108
4.7.2	Tenencia de equipos eléctricos en sector Residencial .....	110
4.7.3	Cumplimiento de la Reglamentación Térmica en viviendas .....	111
4.7.4	Grado de alcance de confort térmico en viviendas .....	112
4.7.5	Tendencia de habitantes por vivienda .....	113
5	Bibliografía .....	118
6	Anexos .....	120
6.1	Anexo 1: Resumen estudios relevantes .....	120
6.1.1	Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación (PROGEA, 2009) .....	120
6.1.2	Curva de Conservación de la Energía del sector residencial (CDT, 2009) .....	123
6.2	Anexo 2: Factores de conversión y de emisión .....	125
6.2.1	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> e de combustibles .....	125
6.2.2	Poder calorífico de combustibles .....	126
6.3	Anexo 3: Análisis de Interrupción del Suministro de GN de Argentina .....	126
6.4	Anexo 4: Evolución del número de habitantes por vivienda de acuerdo al aumento del PIB	128
6.5	Anexo 5: Evolución del mix de combustibles de acuerdo a uso final .....	129
6.6	Anexo 6: Estudios post 2006 utilizados solo de forma indicativa .....	135
6.6.1	Estudio caracterización del sector retail .....	135
6.6.2	Estudio caracterización centros asistenciales .....	138
6.7	Anexo 7: Datos de población 2021-2050 .....	138

## Resumen Ejecutivo

El presente estudio, se enmarca dentro de la iniciativa MAPS-Chile, la cual busca estudiar distintos escenarios de proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero, relevantes para poder generar la evidencia necesaria sobre distintos cursos de acción que pueda seguir el país. Este estudio corresponde a parte de la primera fase de la iniciativa, la cual tiene como objetivo proyectar las emisiones de gases efecto invernadero a nivel nacional para el escenario Línea Base o Crecimiento sin restricciones para el horizonte de evaluación 2007-2050, para los sectores: centros de transformación (generación/transporte de electricidad, refinerías, etc.), minería e industrias, transporte y urbanismo, comercial, residencial, público, agropecuario, forestal, cambio de uso del suelo y residuos.

Uno de los sectores a estudiar por parte de la iniciativa y del cual es objeto este informe, es el Comercial, Público y Residencial (CPR). Este sector representa, al año 2006, el 25% del consumo total de energía (CNE, 2007) y aproximadamente un 5% de las emisiones directas de GEI, según se señala en la Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Este estudio, tal como se mencionó anteriormente, corresponde a la línea base de consumos energéticos y emisiones que toma como año base el 2006, con su respectiva proyección al 2050. El hecho de que el año inicial a considerar sea el 2006 trae un gran desafío, debido a que se debe utilizar solo información disponible o adaptada a ese año. Lo anterior, para representar fielmente la situación a esa fecha, con la información, políticas y planes conocidos.

Al año 2006, los sectores Comercial, Público y Residencial, contaban con información de sus consumos energéticos a nivel total, entregada por el Balance Nacional de Energía. Aparte de esto, presentaban una dispar situación en cuanto a su caracterización, comportamiento e información de usos finales.

Los sectores Comercial y Público, no cuentan con estudios que realicen un análisis detallado de estos, existiendo una gran interrogante de cómo se encuentran compuestos. Por ejemplo, para el sector Comercial, existe una gran variedad de establecimientos que lo componen, tales como: supermercados, centros comerciales, bodegas, almacenes, hoteles, restaurantes, entre otros (INE, 2007). Estos elementos cuentan con un comportamiento de consumos energéticos y de usos finales bastante dispar, existiendo además, estudios para pequeños segmentos de éste (retail y centros asistenciales). Estas carencias se suplen, metodológicamente, con un análisis de consumo por intensidad de energía.

A su vez el sector Residencial, al año 2006, tampoco contaba con información que permitiera una caracterización en cuanto a usos finales y patrones de comportamiento. Si bien, la unidad base de este sector, la vivienda, se encontraba identificada y con cierta información en cuanto a su cantidad y distribución en el territorio nacional; no se contaba con información de calidad acerca de usos finales y uso de artefactos. Además, a esa fecha, sí se contaba con información de

tenencia de algunos equipos consumidores de energía, tales como calefones, refrigeradores y televisores, por medio de la encuesta CASEN 2006. Cabe destacar que existen estudios posteriores al año 2006, (CDT, 2009) por ejemplo, que entregan información valiosa acerca del comportamiento y usos finales de este sector, permitiendo una caracterización detallada de éste.

Debido a la diversa calidad de la información con que se cuenta para los distintos sectores del CPR, se procedió a aplicar diversos enfoques para realizar la construcción de la línea base 2006 y su proyección al año 2050. Para los sectores Comercial y Público, como cuentan con una pobre caracterización y casi nula información sobre usos finales y comportamiento de éstos, en particular para edificios públicos y comerciales, se utilizó un enfoque *top-down*. Los modelos econométricos utilizados en estos subsectores poseen validaciones estadísticas limitadas, quedando espacio para mejoras.

Este enfoque permite abordar el problema de la caracterización de estos subsectores, haciendo uso de la información de consumos totales que se posee, para luego llegar a una proyección del consumo de energía. Esta proyección se realizó por medio de dos *drivers*: el PIB sectorial y los m<sup>2</sup> construidos de cada uno de éstos; los cuales, estadísticamente, permiten proyectar de manera correcta el crecimiento de estos sectores.

En cuanto al sector Residencial, tal como se mencionó anteriormente, también cuenta con escasa información acerca de usos finales y de comportamiento de artefactos al año 2006. Pero existen estudios posteriores a ese período que permiten subsanar estos vacíos, los cuales entregan información de mejor calidad. Esta información, principalmente corresponde al comportamiento de uso de equipos para el año 2008, la cual fue adaptada para el año 2006, debido a que los patrones de consumo no han presentado grandes cambios. Con esta información disponible se utilizó un enfoque *bottom-up*, el cual permite realizar una descripción del sector completo, por medio de la caracterización de la unidad funcional escogida (vivienda), para luego obtener un comportamiento global de éste.

Junto a lo anterior, cabe resaltar dos factores relevantes que se utilizan en la proyección del comportamiento del sector Residencial: el confort térmico y el número de habitantes por vivienda. El confort térmico se alcanza cuando una vivienda se encuentra a una temperatura constante (del orden de 19° a 22°C) durante todo el invierno. Este factor se supuso que dependía del ingreso familiar y de las características térmicas de la vivienda, alcanzándose para un cierto nivel económico del país, a partir del cual el consumo energético por vivienda para efectos de calefacción se mantiene constante.

En cuanto al número de habitantes por vivienda, es un factor clave para determinar el parque total de viviendas al 2050, debido a que se conocen las proyecciones de población del país. Este se proyectó en base a información de países que tuvieron, en su historia, una situación similar a la de Chile al año 2006, con lo que se procedió a proyectar este número mediante tales tendencias. Se proyecta que se pasa de 3.79, en el año 2006, a 2.43 habitantes por vivienda en los últimos años, manteniéndose constante en este último valor.

Los datos de población desagregados regionalmente que se usaron para este fin, son resultado de los criterios considerados por el equipo consultor. Cabe hacer notar que el valor de la proyección nacional de población al año 2050 es común a todos los sectores del proyecto MAPS y corresponde a las estimaciones del estudio (INE-CEPAL, 2005).

Por otra parte, la metodología utilizada en el sector residencial para proyectar los consumos de energía se basa en la estimación de tenencia de artefactos consumidores de energía y su evolución en el tiempo. Si bien existe suficiente información para caracterizarla en el año de inicio, no hay bastantes datos históricos para lograr correlacionarla con el aumento del PIB per cápita (tal como sucede en los países desarrollados). Es por esta razón que se ha recurrido a estudios y/o información internacional que permitió estimar los niveles de tenencia y uso de artefactos a los que debería llegar nuestro país en la medida que aumente el PIB per cápita, ajustando esta información a patrones culturales y a las características del país.

Una vez caracterizados y proyectado el comportamiento de cada uno de los sectores, se obtienen los resultados de consumos energéticos y emisiones, entre otros. Tal como se mencionó anteriormente, al año 2006, el sector que representaba gran parte de los consumos energéticos del CPR, era el Residencial; pero, como se muestra en la Ilustración 1, esta situación cambia al año 2030, debido a que el sector Comercial es el que más aporta al consumo total del CPR. Esto último se debe a que el sector Comercial, sufre un fuerte aumento en el consumo de electricidad a lo largo del período estudiado.

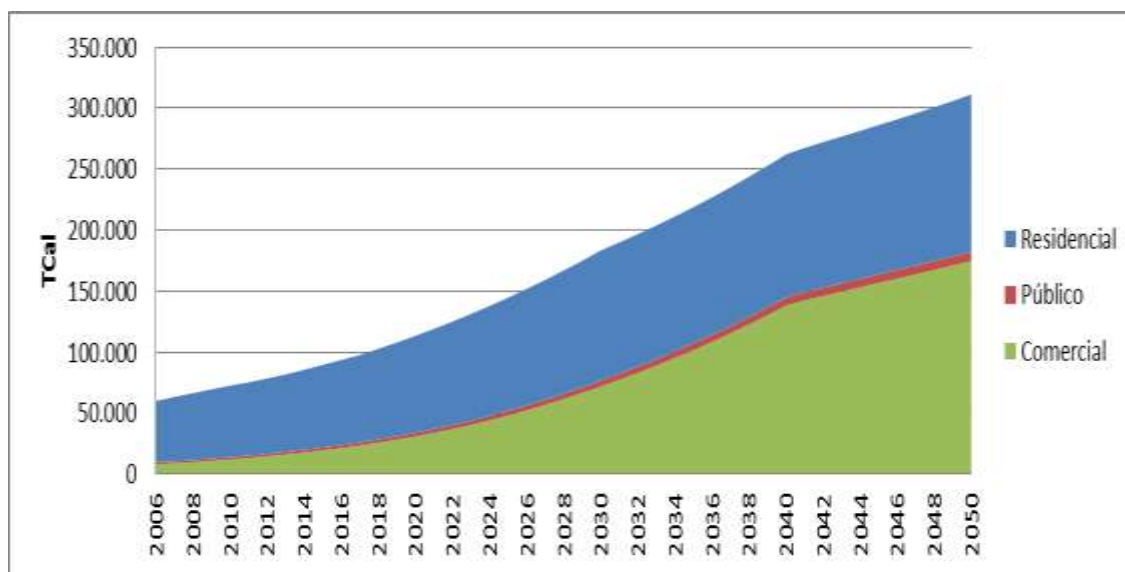


Ilustración 1: Proyección del consumo energético total CPR, escenario PIB medio alto.

En la Ilustración 2, se puede observar que el mayor emisor de GEI es el sector Residencial, seguido de cerca por el sector Comercial y en menor medida por el sector Público. Si bien, el sector Residencial es el predominante en cuanto a consumo y emisiones, cabe resaltar el crecimiento del

sector Comercial hacia el año 2050. Este crecimiento, se visualiza principalmente en lo que se refiere a consumo energético y en menor medida en emisiones. Ello se debe a que gran parte del consumo del sector Comercial corresponde a consumo eléctrico, el cual imputa sus emisiones al sector de Generación eléctrica.

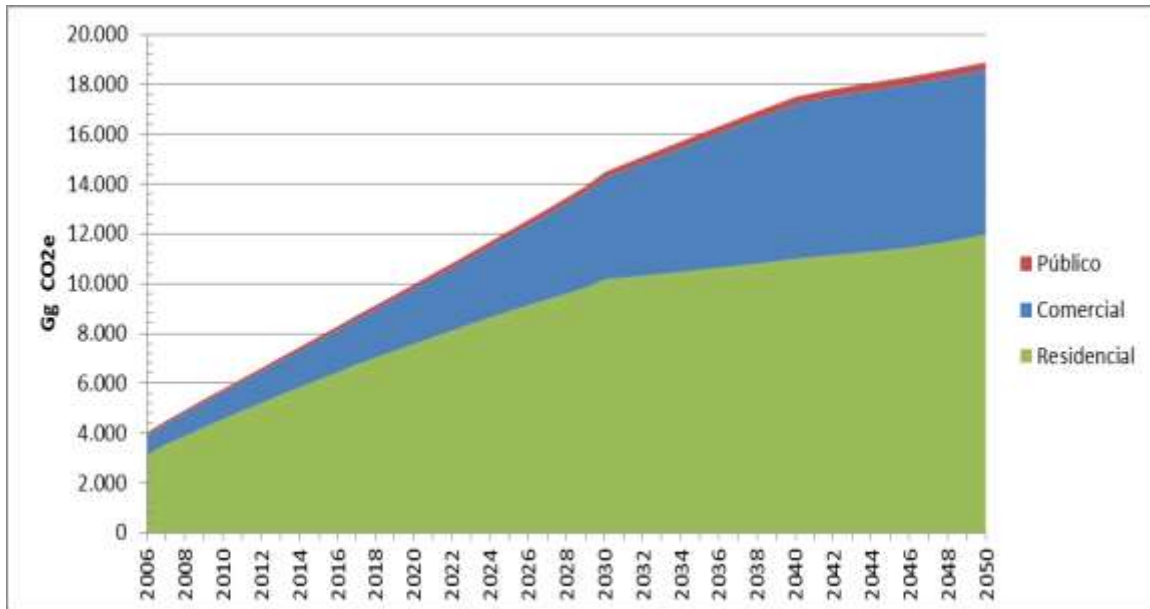


Ilustración 2: Emisiones de GEI total CPR, escenario PIB medio alto.

El estudio no ha incorporado las emisiones de leña y biogás en el total del sector. Si bien estas emisiones se contabilizan en un ítem separado en el Inventario de Emisiones de GEI (denominadas emisiones no-CO<sub>2</sub>), su consumo se produce principalmente en CPR.

En el sector CPR, existen variables críticas que presentan un alto grado de incertidumbre a la hora de proyectar los consumos energéticos y emisiones, tales como: cumplimiento de la reglamentación térmica, tenencia de equipos en las viviendas, número de habitantes por vivienda que se alcanza y grado de confort térmico. Esta última variable es crítica, ya que no se tiene certeza del grado de confort térmico que tendrá la población y cuando lo alcanzará. Esto está fuertemente ligado al ingreso medio que posean los hogares y a la zona térmica en donde se encuentren emplazados. A mayor ingreso, un hogar puede solventar el gasto en combustibles e infraestructura necesario para alcanzar el confort térmico, por lo que a medida que aumente el PIB per cápita, se tendrá un mayor porcentaje de viviendas que alcancen esta situación. Si se considera que el confort térmico se alcanza en el 100% de las viviendas y no solo en las viviendas nuevas, se tiene que el consumo energético del sector Residencial aumenta cerca de un 30% al año 2050. Esto indica lo relevante de esta variable en posibles reducciones de consumo y en la determinación de las emisiones del sector.

Junto a lo anterior, se tiene que el sector CPR cuenta con un gran potencial de reducción de emisiones de GEI (Urge-Vorsatz & Harvey, 2007). Es por esto que es importante identificar las políticas públicas que se deben llevar a cabo y que información se debe generar (ej:

caracterización del sector Comercial, grado de confort térmico de la población), para así facilitar la toma de decisiones en cuanto a mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

## 1 Introducción

El sector Comercial, Público, y Residencial (CPR) es el sector que representa los consumos energéticos más relacionados con las actividades humanas directas. Históricamente no ha sido considerado un sector de gran consumo energético, sin embargo ha tenido un importante incremento de este desde el año 1998 al 2006. Se estima que el subsector residencial al 2006 representaba el 83% del sector CPR (CNE, 2007). Los sectores Comercial y Público consumen el 17% restante del consumo energético de CPR al 2006.

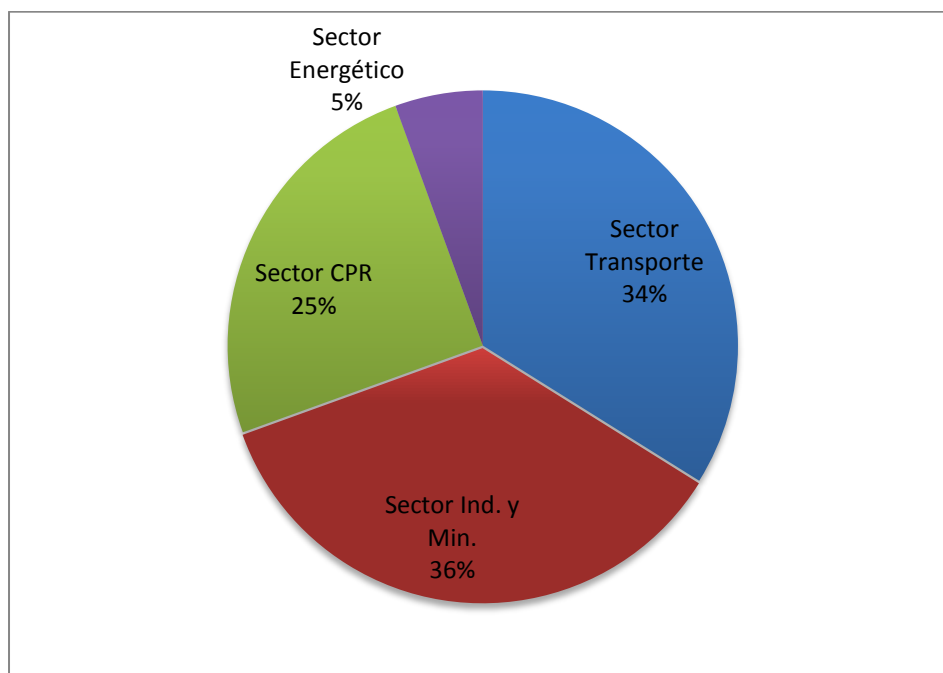
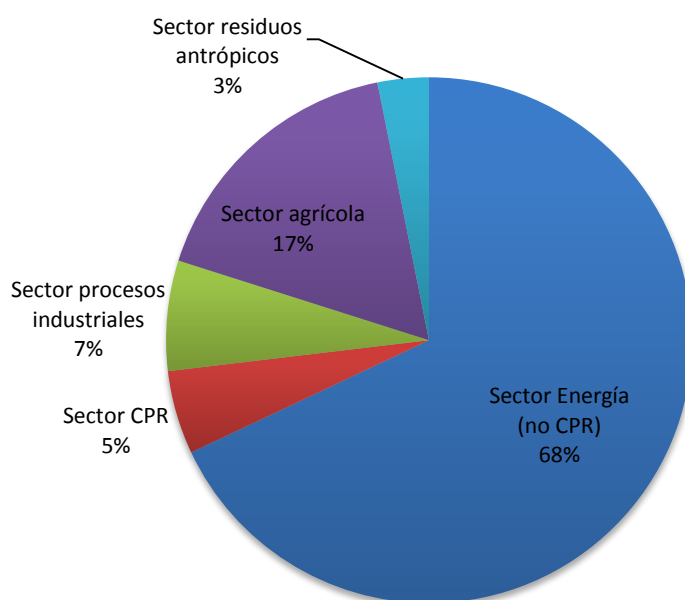


Ilustración 3: Distribución del consumo energético en función del sector, al año 2006. (CNE, 2007).<sup>1</sup>

De acuerdo a la Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de la ONU para Cambio Climático (UNFCC), 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector CPR para el año 2006. Adicionalmente el tipo de combustible usado en el sector, particularmente la leña, aporta casi el 60% del material particulado de las ciudades de Chile, según datos del Ministerio de Medio Ambiente, por lo que las estrategias de mitigación que se adopten pueden tener grandes co-beneficios más allá de la reducción de GEI, como cambios de combustible por aquellos que son más limpios (Mena-Carrasco & Oliva, 2012). Finalmente, si bien en Chile no se considera el sector CPR como un gran emisor en comparación con sectores como el transporte, industria, y energía, a nivel global es considerado importantísimo en reducción de CO<sub>2</sub>

<sup>1</sup>No considera el consumo de los Centros de Transformación.

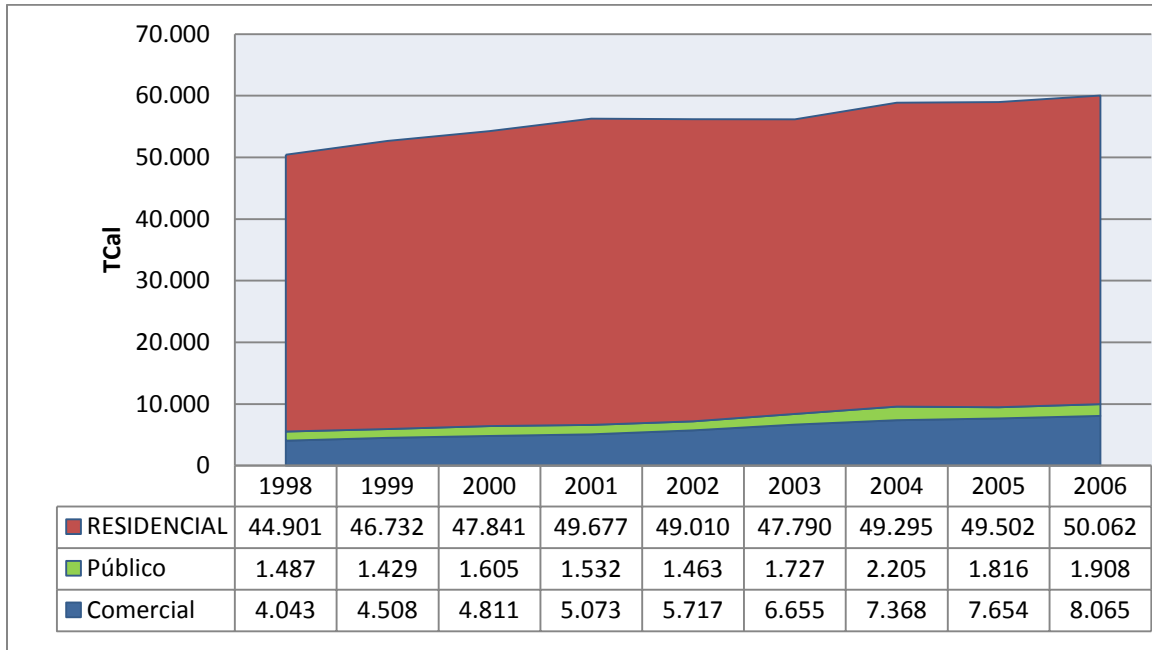
fruto de sus impactos en el ciclo de vida (incluyendo materiales de construcción, etc.) (Urge-Vorsatz & Harvey, 2007). En términos generales la contribución del sector CPR es baja en emisiones de GEI en Chile fruto de la intensidad de combustión en industria y el transporte, y el bajo nivel de confort térmico, con limitadas aplicaciones de calefacción y climatización en el global de los consumos. Sin embargo, se pueden esperar cambios en patrones de consumo energético (con aumento significativo futuro de acondicionamiento de aire) ya sea por mejoras en el ingreso per cápita, o bien como respuesta de adaptación al cambio climático (Akpinar-Ferrand & Singh, 2010). Esto ya se avizora, observando datos de crecimiento de demanda energética del sector comercial y público en comparación con el sector residencial, fundamentalmente por aumento de consumo en climatización.



**Ilustración 4: Contribución (en %) de emisiones sectoriales a las emisiones totales de gases de efecto invernadero para Chile el año 2006 (MMA, 2011).**

La Ilustración 5 muestra la evolución del consumo total de la energía consumida por el sector CPR desde el año 1998 al 2006, el cual muestra un alza en 107% para el sector comercial, 52% para el sector público, y un 49% para el sector residencial. El crecimiento del sector residencial y comercial ha sido más bien lineal, mientras que el sector público ha tenido un crecimiento escalonado, asociado fundamentalmente al aumento del gasto público. En promedio el crecimiento anual de consumo energético desde 1998 a 2006 ha sido de 9.5% (comercial), 5.1% (residencial) y 5.4% (público). Esto sugiere que el consumo del sector comercial ha crecido por sobre el crecimiento económico del país, más cercano al PIB del sector comercio. A diferencia de esto, el sector residencial presenta un crecimiento de consumo energético más relacionado con el

aumento en el número de viviendas, que se estima en 2.7% al año, de acuerdo a los datos de los censos de población desde 1992 a la fecha.



**Ilustración 5: Evolución de energía total consumida sector comercial-público-residencial (CPR) (Fuente, CNE, Balance Nacional de Energía 1998-2016).**

Este estudio tiene por objeto estimar las emisiones del sector CPR desde el año 2006 al año 2030 y 2050. Este informe contempla la caracterización del sector, una revisión bibliográfica de los estudios que se han realizado en el sector, la descripción de la metodología utilizada y posteriormente los resultados y conclusiones del proyecto.

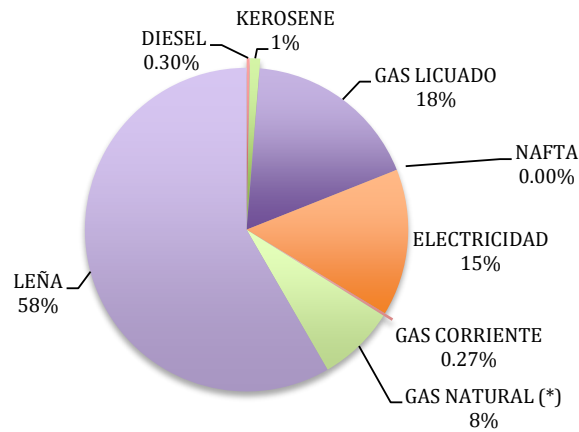
## 2 Revisión bibliográfica de estudios disponibles al 2012

En este capítulo se procederá, en una primera parte, a describir en detalle la situación del sector CPR a fines del 2006 en lo relativo a su comportamiento en términos energéticos, las normativas existentes y en discusión, y a una caracterización preliminar del mismo. Esto permitirá poner en contexto y fundamentar algunos de los supuestos considerados para el modelamiento de la línea base del sector. Posteriormente, se llevará a cabo una revisión bibliográfica de los principales estudios que presentan caracterizaciones del sector a nivel nacional y que permiten obtener antecedentes para este trabajo. A continuación, se presentarán las referencias revisadas.

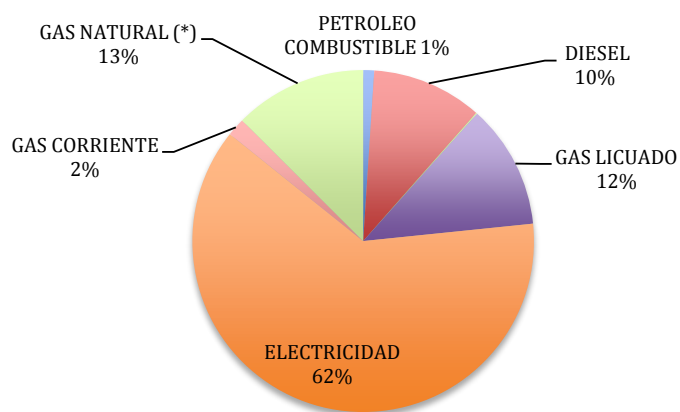
### 2.1 Situación del sector CPR a diciembre de 2006

A nivel país, en el año 2006 se consumieron 60,034 Tera Calorías (TCal) de energía, de las cuales 88% provenían del sector residencial, con un 11% del sector comercial y público (CNE, 2007). De esa energía la mayoría proviene de la calefacción a leña (50%), por otra parte un 22.3% del consumo energético del CPR era eléctrico, seguidos por el gas licuado (16.7%), gas natural (8.4%) y diésel (1.7%). Se podría esperar que el diésel, petróleo combustible que se utiliza en el sector público y comercial esté destinado a la generación eléctrica de respaldo. La Ilustración 6 muestra el tipo de energético usado en el consumo de los sectores del CPR. En ella se observa que la mayoría de la energía consumida en una casa no es eléctrica, sino que en base a combustibles relacionados con la calefacción y cocción. En el sector comercial y público la mayoría del consumo energético es más bien eléctrico, y en menor medida se usan combustibles como el gas licuado y gas natural, ya que los principales consumos energéticos de estos sectores están relacionados con los usos finales de iluminación y aire acondicionado.

**Consumo energético Sector Residencial , año 2006 (CNE,2007)**



**Consumo energético Sector Comercial, año 2006 (CNE, 2006)**



**Consumo energético Sector Público , año 2006**

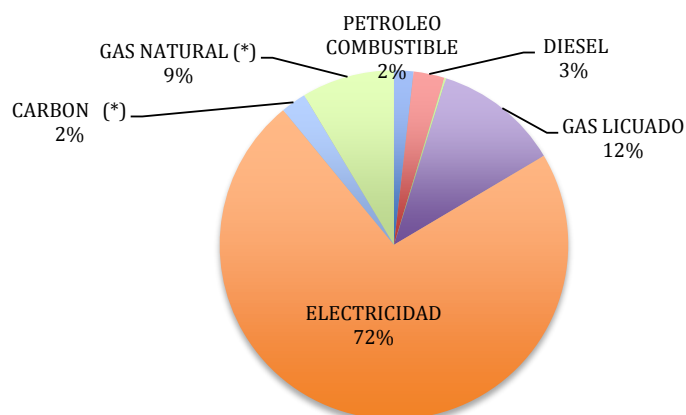


Ilustración 6: Distribución de consumo energético CPR en función de combustible o energético usado para el año 2006 (CNE, 2007).

A continuación se procederá a realizar una descripción de la situación energética del sector para fines del 2006, lo que nos permitirá situarnos en el contexto inicial, tanto en términos de consumo de energéticos, como normativos y de esta forma, estimar la forma en que se comportaría el sector en los siguientes años.

En términos normativos, los principales avances relativos a la energía se encuentran en el sector residencial, donde ya el año 1991 fue implementado el “Programa de Incentivo al Acondicionamiento Térmico (PIAT)” (Campos, 1992), en la municipalidad de la Florida, el cual fue un referente latinoamericano que sirvió de pauta para el desarrollo del “Programa de Reglamentación sobre Acondicionamiento Térmico en Viviendas” a cargo del MINVU. La iniciativa en marcha desde 1996, contempló 3 etapas sucesivas, de las cuales dos de ellas alcanzaron a ser incorporadas a la Ordenanza General de Vivienda y Urbanismo válida para todo el país:

1. Primera Etapa - Aislación de Techos: en vigencia desde el 1 de marzo de 2000, establece exigencias de aislación térmica para la techumbre de todas las viviendas del país, que se construyan a partir de ese año, para lo cual se dividió el país en 7 zonas térmicas, en base a los requerimientos térmicos necesarios para calefaccionar un recinto determinado en cada zona.
2. Segunda Etapa - Aislación de Muros, Ventanas y Pisos: en vigencia a partir del segundo semestre del 2006, es complementaria a la primera etapa, puesto que incorpora exigencias de calidad térmica en muros, ventanas y pisos ventilados (que no estén en contacto con el terreno) para todas las viviendas del país.

Para efectos de este estudio, todo el parque de viviendas construidas en el país entre el 2001 y el 2006 contaban con la primera etapa de la reglamentación, es decir, del total del parque existente a la fecha (que se estima en 4,337,066 si el total de permisos de edificación de viviendas de acuerdo a los datos del anuario de edificación INE-CChC fueron construidos), el 18% de las viviendas del parque ya contaban con aislación de techos, lo que presenta menores consumos energéticos de calefacción para ese porcentaje del parque de viviendas.<sup>2</sup>

3. Tercera Etapa - Certificación Térmica, que corresponde a la calificación energética de las viviendas nuevas y existentes, siendo optativa en primer lugar, y posteriormente obligatoria. En ese año recién se estaba empezando a estudiar, y se esperaba que en el transcurso de los siguientes dos años estuviese operativa. De acuerdo a datos obtenidos de esa fecha, la idea de esta tercera etapa era hacerla obligatoria para viviendas nuevas, lo que finalmente derivó en una calificación optativa de viviendas nuevas que se espera empiece a funcionar el 2012. Sin embargo, para efectos de análisis de línea base, se debe

---

<sup>2</sup> Se realiza este supuesto, considerando que las viviendas viven en confort térmico.

estimar asumiendo los pronósticos a diciembre del 2006, es decir, considerándola operativa en los próximos años y de forma obligatoria.

Se ha discutido si al año 2006 se debiese considerar este reglamento como parte de las condiciones basales que definan los consumos energéticos futuros del sector residencial. De acuerdo a un manual del año 2006, implementado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2006), esta normativa se sabía que entraba en vigencia el 4 de enero del 2007, por lo que debe ser considerada dentro de la línea base.

Estas normativas generarán importantes disminuciones en la demanda energética de las viviendas en relación a la calefacción. Sin embargo, esto no implica en estricto rigor un menor consumo energético, ya que para esto las viviendas deben considerarse en confort térmico, es decir, a una temperatura constante durante el invierno, situación que ocurre en un porcentaje menor de los hogares. Dicha situación se explica ya que no se destina mucho presupuesto en ello, y por lo tanto las mejoras de aislación de las viviendas, en muchos casos llevarán a mejoras en el confort, pero no necesariamente a un menor consumo energético. Esto será analizado en detalle al estimar la línea base futura.

Por otro lado, el sector comercial presenta una menor presencia en el consumo energético que el sector residencial (9% al año 2006), y sus usos están principalmente enfocados al consumo de electricidad (62% de consumo total), a diferencia del sector residencial, donde la calefacción y el agua caliente sanitaria corresponden a los principales consumos energéticos -desde un enfoque *top-down* derivado del Balance Nacional de Energía-. En el caso del comercio, los consumos incluyen principalmente iluminación, ventilación, aire acondicionado y equipos de oficina, aunque estos consumos están incompletamente caracterizados (GAMMA, 2009).

De acuerdo a lo que se detalla más adelante, este es un sector muy heterogéneo, ya que está formado desde grandes centros comerciales a pequeñas tiendas de barrios, pasando por colegios, clínicas, centros deportivos, oficinas, restaurants, panaderías, universidades, centros educacionales, etc. A fines del 2006, de acuerdo al Directorio de Eficiencia Energética 2005-2006, se desconocía el número de establecimientos comerciales que habían incorporado el uso eficiente de energía en su gestión, siendo muy pocos y por iniciativa propia.

De acuerdo a esa misma publicación, la baja penetración del uso eficiente de la energía en este sector se vio reflejada en un sondeo efectuado por la Cámara Nacional de Comercio, Servicios y Turismo de Chile (CNC), entre sus principales asociados, donde muy pocos socios reconocieron experiencia en este tema, y por ende poca conciencia respecto a los beneficios respecto al menor consumo de energía, situación que cambió en los siguientes años producto del trabajo del Programa País de Eficiencia Energética (PPEE).

A pesar de lo anterior, ya en esa fecha, el PPEE se encontraba trabajando en proyectos de etiquetado de refrigeradores y de ampolletas de forma de dar claridad de información al cliente final respecto al consumo energético de estos equipos.

El sector público en tanto ha sido mejor caracterizado, ya que opera bajo financiamiento del Estado. Para ello el gobierno ha realizado ciertos diagnósticos (Ministerio de Hacienda, 2008) a un número limitado de edificios, al sector de salud (centros asistenciales) y centros educacionales (IDIEM, 2010). Adicionalmente ha desarrollado un catastro de los edificios públicos coordinado entre el Ministerio de Energía y el MOP.

## 2.2 Revisión bibliográfica de estudios relevantes

Respecto a la revisión de estudios relevantes, se consideraron aquellos estudios que por una parte sirven para levantar la situación base del sector CPR, y por otra, aquellos estudios de prospectiva que se han hecho para proyectar la caracterización del consumo de energía de estos sectores, como para caracterizar las emisiones del sector bajo una modalidad tendencial.

En la primera línea destacan varias publicaciones donde se entrega información para levantar la situación base, las cuales se listan en la Tabla 1.

Tabla 1: Referencias para levantar la situación base al 2006.

Referencias	Sectores		
	Comercial	Público	Residencial
CNE (2006). Balance Nacional de Energía de Energía. Comisión Nacional de Energía (CNE).	✓	✓	✓
CNE (2005). Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos.			✓
Ambiente Consultores – PRIEN (2007). Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas. Elaborado para la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional – MINVU.			✓
Márquez, M. y Miranda, R. (2007). Una estimación de los impactos en los presupuestos familiares derivados del sostenido aumento en los precios de la energía. Programa de Energía de la Universidad Austral (UACH) y ASERTA Consultores, para MINSEGPRES.			✓
PRIEN (2008). Estimación Preliminar del Potencial de la Eficiencia en el Uso de la Energía Eléctrica al Abastecimiento del Sistema Interconectado Central.	✓	✓	✓
Cisternas, J. y Martin, K. (2006). Caracterización del consumo de la leña en las comunas de Cisnes y Lago Verde, XI Región.			✓
PRIEN-DICTUC (2008). Ejecución de ensayos de Medición del Consumo y Rendimiento Energético de Artefactos de Uso Doméstico y análisis socioeconómico comparativo del uso de gas y electricidad como energéticos domiciliarios.			✓
PRIEN (2010), Estudio de Bases para la Elaboración de un Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2010-2020.	✓	✓	✓
Universidad de Chile (2006). Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile, Centro Micro Datos - CNE 2006.			✓

Ambiente Consultores (2007). Análisis técnico-económico de la Aplicación de una Norma de Emisión para Artefactos de Uso residencial que Combustionan con Leña y Otros Combustibles de Biomasa. Estudio solicitado por CONAMA.			✓
PRIEN (2008) Caracterización del consumo y estimación del potencial de ahorro de energía en las distintas regiones de Chile	✓	✓	✓
Corporación de Desarrollo Tecnológico y Cámara Chilena de la Construcción (2010). Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile. Solicitado por el Programa País de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía del Gobierno de Chile,			✓
Casen (2006)			✓
IDIEM (2006). Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de Energía en Establecimientos Asistenciales de Chile”.		✓	
Gamma Consultores (2009). Diagnóstico energético del Sector Retail.	✓		
Comisión Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales 2011. Mejorando las Competencias Laborales del Sector Retail.	✓		
INE – CEPAL (2005). Chile: Proyecciones y Estimaciones de Población. Total País 1950-2050.	✓	✓	✓
Fundación Chile (2009). Ficha resumen 16 edificios públicos. Programa de eficiencia energética en Edificios Públicos.		✓	
Coordinación de Proyectos de Eficiencia Energética en el Sector Público (ESCOs).		✓	
INE (2006).Resumen Ejecutivo. Encuesta de caracterización energética en hoteles y restaurantes 2006.	✓		
AETS y ECOLONER (2010). Estudio de Mercado de Eficiencia Energética en Chile. Preparado para el Programa de Eficiencia Energética.	✓	✓	✓
CDT 2009). Curva de Conservación de la Energía del sector Residencial.			✓
CDT (2012) Propuestas de Medidas para el Uso Eficiente de Leña en la Región Metropolitana.			✓
MMA (2011) Segunda Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático (Base 2006).			✓

Por otra parte, existe un gran número de estudios relevantes donde se hace prospectiva de las emisiones de GEI en el sector CPR. Estas referencias permiten distinguir aquellas variables utilizadas para explicar el crecimiento y las diferencias atribuidas a las proyecciones (supuestos, variables homogéneas, etc.). En la Tabla 2 se listan las principales referencias de este tipo.

Tabla 2: Estudios de prospectiva de emisiones.

Referencias	Sectores		
	Comercial	Público	Residencial
PROGEA (2008). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile: Antecedentes para el desarrollo de un marco regulatorio y evaluación de instrumentos de reducción.	✓	✓	✓
POCH Ambiental (2008). Inventario Nacional De Emisiones De Gases Efecto Invernadero. Estudio Elaborado con apoyo de Deuman para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.	✓	✓	✓
PROGEA (2009). Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación.	✓	✓	✓

CEPAL (2009). Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático en Chile. Colección Documentos de Proyectos. Publicación de las Naciones Unidas, Santiago	✓	✓	✓
POCH Ambiental (2009), “Proyección de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector energía”, Santiago de Chile, Comisión Nacional de Energía (CNE).	✓	✓	✓
CCG-UC (2010) Estimaciones de Costo y Potencial de Abatimiento de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para Diferentes Escenarios Futuros. Estudio Realizado para el Ministerio de Hacienda	✓	✓	✓
CCG-UC/Poch Ambiental (2010). Análisis de opciones futuras de mitigación de GEI para Chile en el sector energía	✓	✓	✓
CCG-UC (2011). Diagnóstico de la Problemática de Mitigación de Emisiones GEI Documento de Apoyo al Grupo de Diagnóstico de la Comisión de Cambio Climático del Instituto de Ingenieros de Chile.			✓
CCG-UC (2010). Diagnóstico de los Desafíos Planteados por el Cambio Climático en Chile. Documento preparado por el Centro de Cambio Global –UC y el Centro de Políticas Públicas UC para el Banco Interamericano del Desarrollo.	✓	✓	✓
Iniciativa Mitigando el Cambio Climático (2010). Ficha Sector Comercial.	✓		
Iniciativa Mitigando el Cambio Climático (2010). Ficha Sector Residencial.			✓
Iniciativa Mitigando el Cambio Climático (2010). Ficha Sector Público.		✓	

Para este estudio se consideró información levantada antes del 2007 en cuanto a niveles de actividad. Por otro lado en la ausencia de información de calidad en el sector comercial y público, se utilizaron datos de usos finales levantados de estudios del año 2009 y 2010, que no son relevantes en definir niveles de actividad (evitando así sesgos) de manera de respetar el espíritu de usar información basada con una visión desde el año 2007 en adelante.

## 2.3 Análisis detallado de la información disponible para el sector

### 2.3.1 Sector Residencial

Los principales vacíos de información detectado son de tres tipos:

1. En relación a las proyecciones de población por región al 2050:

A pesar de que se cuenta con proyecciones totales del país al 2050- INE y Cepal, 2008-, no se cuenta con proyecciones por región. Esto es relevante ya que la configuración de viviendas por zonas térmicas depende de este aspecto. Para obtener las tendencias por

región, se utilizó la proyección al 2020 por región del INE. El tipo de crecimiento es tipo escala de cada 5 años con cambios en la proyección. A partir de estos valores se realizó un regresión cuadrática para calcular las tasas de crecimiento por población hacia el 2030, utilizando la proyección entre el 2016 al 2020.

Los resultados de estas regresiones se presentan en el punto Variables explicativas.

## 2. Tenencia y uso de artefactos al 2030:

El parque de equipos consumidores de energía al 2006 y sus características fue el módulo de preguntas de energía de la encuesta CASEN 2006, lo que permite tener información de calidad de algunos equipos como calefones, televisores, refrigeradores y computadores, además del gasto de las viviendas en combustible.

En los casos que se ha observado vacíos de información en la tenencia y uso de artefactos, se utilizará valores relativos a estudios posteriores respecto a la distribución de estos artefactos. La débil caracterización del sector no nos permite hacer relaciones entre el PIB per cápita y los patrones de consumo asociado al uso de estos artefactos proyectados al futuro. Por tal motivo, se recurrirá a estudios y/o información internacional para proyectar tal relación, y ajustándolo preliminarmente en la medida de lo posible a los patrones culturales y las características de nuestro país. La variable explicativa de referencia será el PIB, y por lo tanto la tenencia de artefactos y su incremento en el uso así como del tipo se le atribuirán al PIB per cápita.

## 3. Usos finales de la energía a 2006:

Datos de usos finales de la energía del sector residencial a fines del 2006 es también una información muy relevante. Se cuenta con buena información sobre hábitos de uso de la energía, ya que realizó 3,200 encuestas en las 7 zonas térmicas del país. Sin embargo fue realizada 3 años después del año 0 de este estudio, por lo que lo relativo a las tecnologías existentes, debe ser ajustado.

### 2.3.2 Sector Comercial y Público

Existe una falta de información importante en el sector comercial en todo lo referido al uso de artefactos y equipos al año 2006. Por tal motivo se realiza un análisis de consumo por intensidad de energía, utilizando valores del Balance de Energía del 2006 y de estudios posteriores al año 2006.

La información actual sobre los principales puntos es la siguiente:

1. Catastro de edificios públicos: Incompleto, no existe información de consumos energéticos. Existe lista de edificios, no m<sup>2</sup> de estos edificios. Sólo incluye edificios directamente ligados al estado, no edificios municipales (colegios, consultorios, etc.).
2. Catastro de edificios comerciales: No existe. Sólo información de permisos de edificación, separado en 3 categorías. Según juicio de expertos (Iván Poduje), se estima por lo general que 80% se concretan.
3. Usos finales de la energía del sector comercial y público a fines del 2006: Existen estudios de consumo energético (en KWh/m<sup>2</sup>/año) para retail (2009), edificios públicos específicos (2007), centros asistenciales (14 de carácter público, sin representación real), establecimientos educacionales (4 de carácter público, sin representación real).
4. Vacíos más críticos: Lo más importante es poder separar qué cantidad del área construida es comercial y cuál es pública (están agregadas). Además falta una caracterización del sector comercial y público, que es tremendamente diverso. Hay separación por tipo de construcción, pero estas son muy heterogéneas. Por último, faltaría saber cuántos fueron los m<sup>2</sup> construidos, ya que solamente se tiene la información de cuánto se ha construido mediante permisos de edificación.

## 2.4 Revisión de modelos de proyección de emisiones

Dependiendo de lo que se quiere representar y la información disponible, se pueden utilizar dos grandes grupos de modelos: Los modelos econométricos o los analíticos (económicos-técnicos).

### 2.4.1 Modelos econométricos

En la actualidad, para proyectar consumos energéticos, son bastante utilizadas las metodologías en base a modelos econométricos, pero son poco utilizadas en estudios de prospectiva de emisiones de GEI o relación energía-ambiente. El nivel de agregación de estos modelos generalmente es *top-down*, pero también existen construcciones *bottom-up*, aunque sin un gran nivel de detalle. Estos modelos hacen una relación directa entre la actividad económica y las demandas energéticas, asumiéndose rigidez estructural en la economía y asumiéndose que la tendencia será una extensión de los datos históricos. Gran parte de estos modelos utilizan como variable explicativa de la demanda, los precios de los energéticos y su principal fuente son datos

temporales. A su vez, estos modelos se dividen en tres tipos: modelos de consumo agregado de energía, modelos desagregados de energía y modelos sectoriales de demanda de energía (Heaps & Pistonesi, 2011).

- a) Modelos de consumo agregado de energía: la energía está acoplada a la actividad económica de un país. Así la proyección de demanda energética se hace en relación a la actividad económica.
- b) Modelos de energía desagregada: según tipo y sectores, analizándose la actividad económica por sectores.
- c) Modelos de energía por sectores: según tipo y sectores tipos (residencial, manufacturero, transporte, agropecuario, comercial y servicios), sin mayores especificaciones. Los precios surgen como variables explicativas, así como los costos y funciones de producción/consumo.

#### **2.4.2 Modelos analíticos**

Los modelos analíticos representan de manera desagregada la relación entre el sistema energético y su vínculo con el sistema socioeconómico, permitiéndose analizar las consecuencias de la sociosfera con la tecnosfera de un país. En la sociosfera se determina el comportamiento de los consumidores del punto de vista energético. Para ello se agrupan en módulos homogéneos todos aquellos consumidores/unidades que tienen patrones similares de consumo. Los límites de variación deberán de definirse a priori. Un módulo homogéneo se identifica por una variable explicativa que permite comprender el consumo, el consumo energético por unidad de variable explicativa, la estructura de los usos de consumo, una estructura de fuentes de energéticos consumidos, y una matriz de los rendimientos de la tecnosfera por usos y fuentes. Un escenario se plantea en relación a la evolución del conjunto de variables explicativas que tiene, la estructura de los usos y los rendimientos de estos usos por el parque de artefactos y equipos utilizados, y la penetración de estas tecnologías en base al crecimiento de las variables explicativas consideradas de la sociosfera. A su vez existen tres tipos de modelos: Los modelos de optimización, los modelos de simulación e híbridos (Heaps & Pistonesi, 2011).

- a) Modelos de simulación

Los modelos de simulación corresponden a modelos que pretenden analizar variables ya seleccionadas bajo la pregunta tipo “qué pasa si”. Estos modelos permiten relaciones no

necesariamente lineales entre entradas y salidas. A su vez estos modelos se separan en dos ramas:

- De comportamiento y equilibrio: Simula la conducta de los consumidores con respecto a los precios. Generalmente intenta representar el equilibrio entre la oferta y la demanda.
- De coeficientes técnicos: En vez de simular la conducta de los consumidores y productores, utiliza los datos de salida donde se representan estas decisiones y analiza las implicancias de un escenario.

#### b) Modelos de Optimización

Típicamente usados para identificar configuraciones de los sistemas energéticos al mínimo costo (basados en costos marginales de las tecnologías), sujeto a varias restricciones (ej.: se pueden definir límites como consecuencia de políticas: límite en las emisiones de CO<sub>2</sub>, embalses, leyes de emisión local, etc.). Generalmente utilizan programación lineal para configurar el sistema energético que suministrará la energía respecto a la demanda.

Selecciona entre distintas tecnologías basado en sus costos relativos (puede integrarse variación de precios de las tecnologías a lo largo del tiempo, a partir de diferentes variables explicativas).

#### c) Modelos híbridos

Los modelos híbridos son modelos que mezclan ambos enfoques, combinando diferentes metodologías. Algunos modelos integrados combinan aspectos de análisis *top-down* de equilibrio general, lo que hace prescindir de modelos exógenos que determinen escenarios macro económicos (Mundaca, Neij, & Worrell, 2010). Generalmente estos modelos se dividen en módulos que realizan tareas de forma independiente, en donde uno genera el insumo para el otro. Por ejemplo, el módulo OSEMOSYS realiza el modelo de optimización del sistema eléctrico en el modelo LEAP, el que proporciona el escenario sobre el suministro eléctrico.

A continuación se presenta una selección de los modelos de interés:

**Tabla 3: Lista de modelos de proyección de emisiones considerados para este estudio: Ventajas y Desventajas (Fuente: Elaboración propia en base a Heaps, C. y Pistonesi, H (2011)).**

Modelo	Características	Aplicaciones	Metodología	Ventajas	Desventajas
<b>MARKAL /TIMES/ MARKAL MACRO</b>	Optimiza la combinación de medidas más costo-efectiva, a partir de la representación de las características de diferentes tecnologías. Por lo tanto, a diferencia de algunos modelos <i>bottom-up</i> técnico-económicos, MARKAL no requiere - o permite- una clasificación a priori de medidas para reducir las emisiones. El modelo elige las tecnologías según esta optimización y proporciona la clasificación como resultado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre sus aplicaciones destaca:</li> <li>- Implementing the Kyoto Protocol: Cooperation and Technology Scenarios for North America</li> <li>- NREL</li> <li>- Cuba</li> <li>- Turquía</li> <li>- IEA (technology database)</li> <li>- EPA (múltiples Estudios)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analítico</li> <li>- Optimización</li> <li>- MARKAL MACRO -&gt; híbrido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incluye análisis de elasticidad de precios / demanda.</li> <li>- No establece relaciones con otros sectores de la economía.</li> <li>- El modelo resuelve para un consumidor representativo óptimo, donde todas las variables relevantes son agregadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede tener un alto costo (\$3.300 - \$ 15,000 dependiendo de tipo de institución).</li> <li>- Requerimiento de datos alto.</li> <li>- Se requiere alta expertise para utilizar el modelo.</li> </ul>
<b>MAED</b>	La demanda de energía se desglosa en un gran número de categorías de uso final, luego de reconocer tendencias socioeconómicas, tecnológicas y demográficas, y la proyección de escenario se da a través de las influencias de los factores que impulsan cambios sociales, económicos y tecnológicos de un determinado escenario que se estima. Estos se combinan para dar una visión global de crecimiento en el futuro la demanda de energía. Se integra como parte del ENPEP.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colombia</li> <li>- Nigeria</li> <li>-Tailandia</li> <li>-Argentina</li> <li>( entre muchos otros)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analítico&gt;Simulación /Coef. Técnicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite analizar con facilidad los factores que inciden en el consumo de energía de tipo tecnológico y socioeconómico.</li> <li>- Permite analizar efectos de medidas.</li> <li>- Sin costo para: sector público, organizaciones sin fines de lucro y organizaciones de investigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere mucha información en comparación que otros Modelos de Coef. Técnicos.</li> <li>- Deja de lado aspectos económicos.</li> </ul>
<b>LEAP</b>	Su principal objetivo consiste en brindar un soporte integrado y confiable para el desarrollo de estudios de planeamiento energético integrado. Frente a un determinado escenario de demanda final de energía, LEAP asignará los flujos energéticos entre las distintas tecnologías de abastecimiento energético, calcula el uso de los recursos, impactos ambientales y detecta necesidades de ampliación de los procesos de producción de energía, así como los costos asociados. Los principales usos están orientados a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chile ( múltiples)</li> <li>-Cepal</li> <li>- Argentina</li> <li>- Usa (múltiples estados, y a nivel país)</li> <li>- Bolivia</li> <li>- Ecuador</li> <li>- Brasil</li> <li>- Korea</li> <li>- Tanzania</li> <li>- Senegal.</li> <li>- NRDC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analítico &gt;Simulación y optimización eléctrica (no considera equilibrio hidrotérmico)/Coef. Técnicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidad y facilidad de uso.</li> <li>- Integra un modelo de optimización de expansión del sistema(parcial –con limitaciones- o completa).Permite analizar combinación de diferentes medidas y los co-impactos entre estas.</li> <li>- Analiza los efectos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No optimiza el uso del agua</li> <li>- No considera en su plenitud el comportamiento óptimo de los sistemas o agentes económicos.</li> </ul>

	<p>políticas/medidas de eficiencia energética- ERNC, análisis de demanda, entre otros. Permite analizar claramente balances energéticos. No brinda solución óptima global, sino que es del tipo de modelo que se plantea preguntas del tipo “qué pasa si”, donde se deducen las mejores opciones de cambios tecnológicos. .</p>			<p>ambientales de medidas específicas, pudiéndose analizar de manera particular como específica.</p> <p>La aplicación API permite compartir con Excel los resultados como los datos de entrada, logrando también vincularlo con otros modelos como REQLOCHE, entre otros.</p> <p>Se puede combinar con WEAP (modelo de recursos hídricos) y analizar el aumento de demanda bajo ciertos escenarios de cambio climático por región bioclimática.</p>	
<b>MESSAGE</b>	<p>Desarrollado por IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). Diseñado para formular y evaluar sistemas de energías alternativas bajo restricciones. El modelo puede ayudar a diseñar estrategias a largo plazo mediante el análisis de los costos de energía óptima, considerando las necesidades de inversión y otros gastos de nuevas infraestructuras, la seguridad del suministro de energía, utilización de recursos energéticos, la tasa de introducción de nuevas tecnologías (tecnología de aprendizaje), las limitaciones del medio ambiente, etc. Permite modelar la cadena de energía desde la demanda hasta los recursos empleando optimización. Ha sido recomendado por el IPCC</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escenarios Energéticos Chile (fase 1)</li> <li>- Argentina</li> <li>- Cuba</li> <li>- Estados Bálticos</li> <li>-Irán</li> <li>-IPCC</li> <li>- IAEA</li> <li>-China</li> </ul>	Analítico > Optimización	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimiza</li> <li>- Permite analizar aspectos ambientales (emisiones) de manera sencilla.</li> <li>-Realiza Análisis Macroeconómico.</li> </ul>	<p>Relativamente complejo para el ingreso de datos y manejo.</p> <p>No permite analizar ciertos detalles en la transmisión.</p>
<b>ENPEP</b>	<p>Conjunto de modelos integrados para analizar la configuración energética. Es uno de los modelos más robustos que existen. El conjunto de modelos que alberga son: PC-Valor Agua: Modelo para optimizar el uso de agua en sistemas hidro-térmicos. MAED: proyecta demanda energética en base</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- UNFCCC</li> <li>- Brasil</li> <li>- Argentina</li> <li>- Uruguay</li> <li>- México</li> <li>- Venezuela</li> <li>- Bangladesh</li> </ul>	Analítico>Simulación /Equilibrio	<p>Modelo Robusto en el análisis de los aspectos técnicos.</p> <p>Modelo plástico</p>	<p>Extremadamente intensivo en el requerimientos de datos.</p> <p>Alto nivel de expertise en el uso del software.</p>

a escenario de uso final de energía.  
LDC: Proyecta demanda eléctrica a partir de información histórica de evolución de curvas de carga diarias. Macro: Genera retroalimentación de las interacciones entre el sistema eléctrico y la economías.  
BALANCE: Calcula el equilibrio entre oferta y demanda respecto al periodo estudiado. . Analiza desde la extracción hasta el uso final de la energía.  
GTMAX: Administra aspectos de operación y del mercado para sistemas eléctricos desregulados.  
WASP: Analiza la expansión óptima del sistema.

ICARUS: Calcula el detalle de costos de producción eléctrica y la confiabilidad del sistema, según el escenario definido por WASP.

IMPACTS: Unifica relación entre la oferta y recursos requeridos, a partir de lo cual determina los impactos ambientales.

DAM: Herramienta de análisis decisional cuyo objeto es examinar los *tradeoffs* de aspectos técnicos, económicos y ambientales.

- China
  - India
  - Nepal
  - Pakistan
  - Filipina
  - Polonia
  - Rusia
- (Entre muchos otros)

### 3 Levantamiento y análisis crítico de información

De la misma forma que los capítulos anteriores, se procederá a analizar la información existente para llevar a cabo este estudio, de acuerdo a los tres subsectores que componen el sector CPR, es decir los sectores comercial, público y residencial. En el caso del análisis de información tiene especial sentido esta separación, debido a la apreciable diferencia en la calidad de información disponible para cada uno de estos sectores:

#### 3.1 Sector Residencial

Este sector, a diferencia de los otros, posee bastante información acerca de su caracterización energética, en especial debido a diversas encuestas periódicas con bastante información que permite caracterizar bastante bien la situación base. Esto último es relevante debido a que el enfoque *bottom-up*, requiere buena información unitaria de forma de reducir la incertidumbre y los errores al momento de expandir la unidad base al total del sector a analizar. Sin embargo, mucha información es posterior a la del año 2006 (sobre todo en cuanto a los usos y tenencia de artefactos), por lo cual se requerirá cierta adaptación al año inicial del estudio.

En este contexto, se separará la información que podría ser útil para evaluar este sector, y se analizará la calidad de la información existente, que sirva de insumo:

- a) Parque de viviendas y población para fines del 2006.  
La información existente para determinar el número de viviendas, y habitantes para fines del 2006, es de bastante calidad, ya que ese año se realizó la encuesta CASEN, con una muestra de sobre 30,000 encuestas, que permite, con un bajo nivel de error, estimar el parque de viviendas y su tamaño.
  
- b) Parque de equipos consumidores de energía al 2006 y sus características.  
Esta información es relevante para estimar el consumo energético y las emisiones de GEI unitarias. En general la información respecto a este punto tiene buena calidad, ya que el 2006 se incluyó el módulo “energía”, dentro de las preguntas de la encuesta CASEN, que permite estimar la tenencia de algunos equipos consumidores de energía como calefones, televisores, computadores, refrigeradores, etc. y el gasto en los distintos tipos de combustible. Otra fuente utilizada fue el estudio “Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos, CNE, 2005”, que posee información de consumo energético y tenencia de equipos mediante la realización de encuestas en 4 ciudades del país. Sin embargo, a pesar de contar con lo anterior, no existe suficiente información en ese año acerca de las tecnologías existentes en el parque de equipos y sus rendimientos, lo que

tiene que ser estimado mediante fuentes indirectas, tales como otros estudios, informes de la SEC y del registro de importaciones.

c) Usos finales de la energía del sector residencial a fines del 2006:

En este punto la información de la encuesta CASEN y del estudio de la CNE es limitada, lo que es una gran desventaja para caracterizar el consumo energético de las viviendas y proyectar cómo será a futuro. Si bien existe información que permite cuantificar el parque de equipos consumidores de energía, y por otro lado, el consumo energético mediante los balances de energía de ese año, no hay mayor información de patrones de uso en las viviendas (horas y frecuencias de uso de los equipos/artefactos). Esto constituye una información fundamental, en especial si se desea proyectar los usos finales mediante un enfoque del tipo *bottom-up*. Para esto se procedió a usar la información de patrones de uso de equipos del estudio “Curva de Conservación de la Energía del Sector Residencial de Chile, CDT, 2010”, en donde se realizó una encuesta a 3,220 viviendas en las 7 zonas térmicas del país, caracterizando los usos finales, en términos de horas de uso, tipos de equipos, frecuencia de uso, etc., la cual es una buena fuente de información para este estudio. A pesar de que este último es posterior al año base de este estudio, se considera que la información acerca de los hábitos de uso de la energía se puede considerar similar en estos últimos años, lo que permite tener una fuente de información de alta calidad para este estudio.

### 3.2 Sector Comercial y Público

Los estudios de consumo energético en edificios públicos han sido bastante incompletos, y limitados a algunos subsectores. Similar situación se ve en el sector residencial, donde incluso al año 2006 se veía en encuestas del Programa País de Eficiencia Energética que la mayoría de sector ni siquiera llevaba registro de los consumos energéticos.

El problema de no haber caracterizado bien el sector comercial es que obliga mixturas con enfoque *top-down*, para buscar la completitud de la información. Por otro lado los estudios que se han realizado sólo sirven para estimar los usos finales energéticos en forma general, sin necesariamente tener en cuenta el tamaño de las actividades, ni su variabilidad. Es decir, se dan datos agregados del consumo energético. Sin embargo se puede sopesar esta ausencia al caracterizar la tasa de crecimiento de cada subsector comercial/público (en función de edificación comercial, instituciones financieras, servicios, y otros).

El análisis realizado parte con una gran incertidumbre, cuál es el consumo energético específico de un sector bastante grande y poco caracterizado. El análisis parte de la base de que sabemos el área construida del sector al año 2006, pero en realidad es el área construida catastrada desde el año 1983.

## 4 Modelo de proyección de emisiones al 2050

La metodología por utilizar será analítica del tipo *bottom-up* para el subsector Residencial y *top-down* para el caso comercial y público (sin análisis plausibles para los usos finales). Como se describió anteriormente este tipo de metodología permite evaluar cambios estructurales. Al mismo tiempo, el método se plantea por medio de coeficientes técnicos, es decir los datos de entrada representan el comportamiento de los consumidores y productores al año base, y luego se proyecta este año tendencialmente a partir ciertas variables explicativas relacionadas con el crecimiento de la población, la variación en la estructura y distribución de los combustibles, penetraciones y cambios tecnológicos plausibles frente a las tendencias marcadas en el año inicial.

El tratamiento metodológico de la proyección de emisiones no será distinto para los periodos 2006 a 2030 vs 2030 a 2050. La razón fundamental es que el tratamiento metodológico no considera cambios en las condiciones que causan el aumento de consumo que sean dependiente de estos tramos de tiempo, sino que más bien obedecen a otros aspectos independientes de la temporalidad, y obedeciendo a tasas de crecimiento de la actividad económica, crecimiento poblacional, cambios en patrones de habitación en vivienda o en el confort térmico de la población.

A continuación se describe la caracterización de los subsectores que conforman el sector CPR al 2006, haciendo énfasis sobre las principales fuentes que explican los consumos, así como ciertas tendencias registradas hasta ese año.

### 4.1 Caracterización de la situación base de los sectores Comercial, Público y Residencial

Previo a la descripción de la aplicación de la metodología a cada uno de los sectores, se procede a describirlos de forma de sentar las bases de las desagregaciones futuras.

#### 4.1.1 Sector Residencial

El sub-sector residencial es el principal actor en términos de consumo energético primario, ya que de acuerdo al Balance Nacional de Energía 2006, es responsable del 83% de consumo de energía primaria.

Al año 2006, se encontraba constituido por alrededor de 4,337,066 viviendas, de las cuales casi el 90% corresponden a casas, y sólo un 9.9% a departamentos. Es importante hacer esta distinción debido a que en las casas la demanda energética por calefacción es mayor por m<sup>2</sup> que en los

departamentos, lo que implica mayores emisiones. Del total de viviendas (unifamiliares y multifamiliares), el 40% se encuentra en la Región Metropolitana, sin embargo, el 75% del total de departamentos se encuentra en esta región, lo que implica una mayor densificación respecto a regiones.<sup>3</sup>

La caracterización del consumo de energía es más homogénea que los otros subsectores, ya que la unidad base de caracterización -la vivienda- tiene dimensiones más acotadas, tanto en términos de habitantes como de usuarios, a diferencia de los sectores comercial y público. A pesar de esto, el consumo energético de las viviendas presenta variaciones según la zona térmica en que se encuentran, urbano o rural, nivel socioeconómico de las familias, tipo de edificación y disponibilidad de combustible de menor precio.

A diciembre del 2006, no existía una caracterización detallada del consumo energético del sector, siendo la principal información la estadística entregada por el Balance Nacional de Energía (BNE). Según esto, los consumos sectoriales en base a la energía secundaria corresponden a los siguientes:

**Tabla 4: Consumo sectorial año 2006 (Teracalorías) sector CPR (CNE, 2007).**

Energético	Comercial	Público	Residencial	Total
Petróleo Combustible	84	34	0	118
Diesel	845	55	150	1,050
Kerosene	9	3	503	515
Gas Licuado	948	222	8,844	10,014
Nafta	0	0	0	0
Electricidad	5,031	1,384	7,349	13,764
Carbón	0	45	0	45
Gas Corriente	138	0	137	275
Gas Natural	1,011	164	3,865	5,041
Leña	0	0	29,212	29,212
<b>Total</b>	<b>8,065</b>	<b>1,908</b>	<b>50,062</b>	<b>60,034</b>

Esta tabla permite determinar la importancia del sector residencial dentro del CPR, y estimar la desagregación de combustibles usados en el sector, donde la leña aportaba el 58% del consumo energético del sector residencial. Sin embargo, no permite conocer los usos finales de la energía en el sector ni la características de los artefactos utilizados, información fundamental para llevar a cabo un enfoque *bottom-up* de modelación de consumos futuros.

<sup>3</sup>Fuente: (MIDEPLAN, 2006).

En el caso residencial, a partir de la información entregada por la encuesta CASEN 2006, que ese año presentó un módulo de preguntas acerca de consumo energético y tenencia de equipos, reportes de consumo de combustibles de la SEC obtenidos del Informe Estadístico 2006, además del estudio “Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos”, CNE, 2005, fue posible estimar usos finales y consumos unitarios, los que fueron ajustados de acuerdo a la información entregada por el Balance Nacional de Energía del 2006.

Las sub-categorías utilizadas para caracterizar el 2006, se explican en detalle en el capítulo “Definición de categorías por sector”, pero en resumen corresponde a desagregación por:

- a) Zona Climática: de acuerdo a esto, la zona A corresponde a la zona centro-norte, la zona B corresponde a la zona centro sur, y la zona C a la zona austral.
- b) Tipo de construcción: de acuerdo a esto se consideran casas y departamentos.
- c) Sector: se consideran sectores urbanos y rurales.
- d) Usos Finales:
  - i. Calefacción
  - ii. Artefactos eléctricos (excluyendo calefactores, cocinas y duchas eléctricas).
  - iii. Agua caliente sanitaria (en adelante ACS) y cocción

A continuación, en la Tabla 5, se presenta la situación del consumo energético residencial para calefacción al año 2006, obtenido a partir de datos disponibles a esa fecha, basados en la información antes mencionada. Cabe resaltar que la información sobre uso de calefacción para cada combustible se obtuvo de la encuesta CASEN 2006, desde las preguntas acerca de uso y cantidad de combustible usado. Como no es posible determinar a través de esta encuesta, qué porcentaje del combustible fue utilizado para el uso final de calefacción, cocina o agua caliente sanitaria, se procedió a estimar estos usos en base a la información entregada por el Informe Estadístico 2006 de la SEC, asumiendo en el caso del GN y el GLP (que poseen todos los usos), que los consumos de los meses de verano corresponden exclusivamente a ACS y cocina. De esta forma es posible obtener los consumos de calefacción en los meses de invierno, restando del consumo total, los consumo de ACS y cocina obtenidos de los meses de verano. Finalmente, para estimar el consumo por vivienda, se procede a dividir el consumo total de combustibles, por las viviendas que poseen ese uso final, es decir, calefacción. En el caso del kerosene y la leña, se considera que la totalidad del consumo nacional residencial es para uso de calefacción, por lo que no fue necesario hacer esta separación.

Tabla 5: Situación de calefacción en Chile al año 2006. Elaboración propia.

Zona Térmica	Combustible	Viviendas	Viviendas uso	Porcentaje Uso <sup>4</sup>	Consumo KWh/año	Demanda real KWh/año/m <sup>2</sup>
A	Leña	908,655	175,958	19%	12,179	91
	GN y Gas Ciudad		44,033	5%	685	7
	Gas Licuado		255,347	28%	561	7
	Kerosene		24,151	3%	1,384	17
	Leña		3,173,426	1,168,210	37%	15,539
GN y Gas Ciudad	242,341	8%		3,012	31	
Gas Licuado	1,248,496	39%		1,138	14	
Kerosene	684,458	22%		717	9	
Leña	254,985	204,593		80%	34,380	256
GN y Gas Ciudad		40,522	16%	29,363	305	
Gas Licuado		35,703	14%	1,020	13	
Kerosene		29,773	12%	894	11	
<b>Total</b>			<b>4,337,066</b>	<b>4,153,586</b>	<b>96%</b>	

Como se observa en la tabla anterior, aún existe un porcentaje de viviendas que no calefaccionan los hogares, y que se irán integrando en los próximos años. Esto se puede apreciar, por ejemplo en la zona B, donde las viviendas que calefaccionan llegan al 88% del parque. Por otro lado, ya hay viviendas en niveles de confort térmico, en especial en zonas de combustibles baratos (zona sur con leña y Magallanes con GN).

En relación a los artefactos eléctricos, los consumos para ese año se muestran en la

<sup>4</sup> Esta columna representa el porcentaje de viviendas de una determinada zona térmica que usan el combustible señalado. Cabe señalar que para cada zona térmica, la suma de estos porcentajes no necesariamente debe sumar 100% debido a que existen viviendas que consumen más de un combustible para este uso final. En cuanto al total tampoco debe ser un 100% (se observa que en este caso es un 96%), debido a que del total de viviendas no todas utilizan combustible para este uso final.

Tabla 6. Para estimar la cantidad de viviendas que usan los artefactos mencionados en la tabla, en el caso de los refrigeradores y los computadores, se procedió a obtener este dato de la encuesta CASEN 2006, donde se pregunta específicamente esta tenencia. En el caso de la iluminación y el stand-by, se asume que está presente en el 100% de los hogares que poseen energía eléctrica, lo que también se obtiene de la encuesta CASEN 2006. Finalmente en el caso de los televisores, la tenencia respecto al total de viviendas se obtiene de (CNE, 2005).

Tabla 6: Situación de los principales artefactos eléctricos en Chile al año 2006. Elaboración propia.

Artefacto	Sector	Viviendas Total	Viviendas uso	Penetración %	Consumo Unitario KWh/viv <sup>5</sup>
Refrigeradores	Urbano	3,767,761	3,406,183	90%	622.6
	Rural	569,305	434,400	76%	622.6
Iluminación	Urbano	3,767,761	3,760,640	100%	477.5
	Rural	569,305	548,775	96%	492.1
Stand-by	Urbano	3,767,761	3,760,640	100%	164.7
	Rural	569,305	548,775	96%	164.7
Televisores	Urbano	3,767,761	3,666,031	97%	203.8
	Rural	569,305	553,934	97%	205.0
Computadores	Urbano	3,767,761	1,382,240	37%	203.3
	Rural	569,305	56,506	10%	203.6

Los equipos aquí presentados son responsables de cerca del 85% del consumo eléctrico residencial, y ya poseen una alta presencia en los hogares. De esta manera se estima, por ejemplo que en el caso de los refrigeradores, aumente la cantidad de hogares con una segunda unidad, llegando a los niveles de California, donde el 100% posee un refrigerador, y el 24% posee una segunda unidad, de acuerdo a (California Energy Commission, 2009). Estas cifras son similares en el caso de Australia, donde la tenencia está entre 1.28 y 1.48 unidades por familia, de acuerdo a (Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, 2008). De esta forma, la proyección llegará a esos niveles, asumiendo mejoras tecnológicas en el camino.

Por otro lado, existen artefactos que aún tienen una baja presencia, y que presentarán un mayor crecimiento que los equipos anteriores, de acuerdo a la experiencia internacional. Estos artefactos se ven en la siguiente tabla:

<sup>5</sup> Los consumos unitarios de los distintos artefactos se obtuvieron de distintas fuentes. En el caso de los refrigeradores, iluminación, televisores y computadores se obtuvo de (CNE, 2005). Finalmente para determinar el consumo unitario del stand by, se recurrió a (R+C Power Solutions, 2007).

Tabla 7: Artefactos eléctricos con potencial de crecimiento en Chile al año 2006. Elaboración propia.

Artefacto	Tipo	Viviendas Total	Viviendas uso <sup>6</sup>	Penetración Hogares	Consumo Unitario kWh/viv <sup>7</sup>
Hervidor de agua	Urbano	3,767,761	2,125,017	56.40%	96.5
	Rural	569.305	191,724	33.68%	96.5
Aire acondicionado zona A	Urbano	3,767,761	11,303	0.30%	595.0
	Rural	569.305	0	0.00%	595.0
Aire acondicionado zona B	Urbano	3,767,761	11,303	0.30%	407.0
	Rural	569.305	0	0.00%	407.0
Secadora	Urbano	3,767,761	282,582	7.50%	78.4
	Rural	569.305	0	0.00%	78.4
Lavavajillas	Urbano	3,767,761	82,891	2.20%	264.1
	Rural	569.305	0	0.00%	264.1
Microondas	Urbano	3,767,761	1,981,842	52.60%	72.8
	Rural	569.305	169,831	29.83%	72.8
Freezer	Urbano	3,767,761	210,995	5.60%	287.0
	Rural	569.305	0	0.00%	287.0
Horno eléctrico	Urbano	3,767,761	320,260	8.50%	123.0
	Rural	569,305	0	0.00%	123.0

En este caso, se espera un crecimiento importante de estos equipos a medida que aumenta el ingreso per cápita del país. Como ejemplo, la presencia actual de los lavavajillas y de sistemas de aire acondicionado en California al 2009 eran 73% y 49% respectivamente, para un clima similar al de la zona central de Chile, de forma que se espera incremento en el uso de estos equipos en los próximos años.

Finalmente, se estima que existen artefactos eléctricos que no tendrán mayor incremento en su tenencia en los próximos años, principalmente por que se encuentran ya en gran parte de las viviendas. En estos casos, la proyección de consumo disminuirá como resultado de las mejoras tecnológicas de los equipos que ingresen a los hogares. Los artefactos antes mencionados, se muestran a continuación:

<sup>6</sup> Para determinar el porcentaje de hogares que posee este uso final, se procedió a usar el estudio (CNE, 2005), que presenta la penetración en zonas urbanas de la mayoría de ellos. Para obtener esta penetración en zonas rurales, se procedió a aplicar un factor en base a la experiencia de la encuesta CASEN 2006, respecto a la diferencia de penetración de artefactos eléctricos entre las zonas urbanas y las rurales.

<sup>7</sup> Los consumos unitarios se obtienen a partir de la multiplicación de la potencia de los artefactos por las horas de uso. El primer dato se obtiene del estudio (CNE, 2005), y las horas de uso de (CDT, 2009).

**Tabla 8: Situación de otros artefactos eléctricos con menor potencial de crecimiento en Chile al año 2006. Elaboración propia.**

Artefacto	Tipo	Viviendas Total	Viviendas uso	Tenencia	Consumo Unitario kWh/viv <sup>8</sup>
Lavadoras	Urbano	3,767,761	3,259,113	86.50%	90.6
	Rural	569,305	365,141	64.14%	90.6
Equipos de música	Urbano	3,767,761	2,803,214	74.40%	19.0
	Rural	569,305	295,428	51.89%	19.0
Plancha	Urbano	3,767,761	3,406,056	90.40%	40.2
	Rural	569,305	387,610	68.08%	40.2
DVDs	Urbano	3,767,761	1,703,028	45.20%	2.0
	Rural	569,305	127,196	22.34%	2.0

Por ejemplo se puede ver la alta presencia de lavadoras de ropa en el país, que se encuentra ya en niveles de países de mayores niveles de desarrollo. Por ejemplo, en el caso de California, el 79% posee lavadoras, por lo que se estima que este equipo no aumentará considerablemente su presencia, sino, disminuirá su consumo energético producto de mejoras tecnológicas.

En el caso del ACS, la situación al año 2006, es como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 9: Situación del uso de calefones al 2006. Elaboración propia.**

Zona Térmica	Combustible	Viviendas Total	Viviendas uso	Porcentaje uso	Consumo kWh/año/viv <sup>9</sup>
A	GN y Gas Ciudad	908,655	44,033	5%	3,227
	Gas Licuado		524,790	58%	2,137
B	GN y Gas Ciudad	3,173,426	242,341	8%	4,786
	Gas Licuado		1,834,902	58%	2,168
C	GN y Gas Ciudad	254,985	40,522	16%	7,528
	Gas Licuado		73,894	29%	3,659

En el caso de la cocción, la situación es diferente, ya que virtualmente el 100% de las viviendas declara cocinar. A continuación se presenta la situación del uso de cocina al 2006:

<sup>8</sup> Los consumos unitarios se obtienen a partir de la multiplicación de la potencia de los artefactos por las horas de uso. El primer dato se obtiene de (CNE, 2005), y las horas de uso del estudio (CDT, 2009).

<sup>9</sup> La estimación del consumo unitario de GLP y GN para usos de ACS, se realiza a partir de las viviendas que declaran usar calefones, lo que se obtiene de la encuesta CASEN 2006, y de los datos de consumo de GN y GLP residencial, que se obtiene del Informe Estadístico SEC, 2006. Sin embargo, al no aparecer desagregados los combustibles por uso, se procedió a separar los consumo para cocina y ACS, de acuerdo a (CDT, 2009), de esta forma, para obtener el consumo unitario por zona, se divide la cantidad de combustible para ése uso por el número de viviendas que usan el combustible para ACS.

Tabla 10: Situación del uso de cocina al 2006. Elaboración Propia.

Zona	Combustible	Viviendas Total	Viviendas uso	Porcentaje Uso	Consumo kWh/año/viv <sup>10</sup>
A	GN y Gas Ciudad	908,655	44,033	5%	1,464
	Gas Licuado		860,445	95%	680
B	GN y Gas Ciudad	3,173,426	242,341	8%	1,754
	Gas Licuado		2,855,950	90%	676
C	GN y Gas Ciudad	254,985	40,522	16%	3,440
	Gas Licuado		175,642	69%	651
<b>Total</b>		<b>4,337,066</b>	<b>4,218,934</b>	<b>97%</b>	

En relación al tipo de viviendas presentes en el país, las casas representan el 85% de estas, y los departamentos sólo el 14.1% al año 2006, de acuerdo a la encuesta CASEN 2006. Esta caracterización es importante, ya que las demandas energéticas están influenciadas por las distintas tipologías de viviendas y sus materialidades, demandando los departamentos sustancialmente menos energía para calefacción que las viviendas aisladas y pareadas.

Tabla 11: Superficie total por tipo de vivienda (Encuesta CASEN 2006).

Tipo de Vivienda	Total unidades (%)	Superficie Promedio (m <sup>2</sup> )
<b>C Aislada</b>	37.8%	84
<b>C Fila</b>	9.4%	71
<b>C Pareada</b>	38.7%	72
<b>Dpto.</b>	14.1%	76
<b>Total general</b>	100.0%	77

#### 4.1.2 Sector Comercial y Público

En las siguientes dos figuras se muestra el total de energía consumida para los sectores comercial y público, la primera por energía total, y la segunda de energía eléctrica, en donde se puede observar que la mayoría de la energía total consumida es atribuible al sector comercial.

<sup>10</sup> La estimación del consumo unitario de GLP y GN para usos de cocina, se realiza a partir de las viviendas que declaran usar GN o GLP, lo que se obtiene de la encuesta CASEN 2006, y de los datos de consumo de GN y GLP residencial, que se obtiene del Informe Estadístico SEC, 2006. Sin embargo, al no aparecer desagregados los combustibles por uso, se procedió a separar los consumo para cocina y ACS, de acuerdo a (CDT, 2009), de esta forma, para obtener el consumo unitario por zona, se divide la cantidad de combustible para ése uso final por el número de viviendas que usan el combustible para cocina.

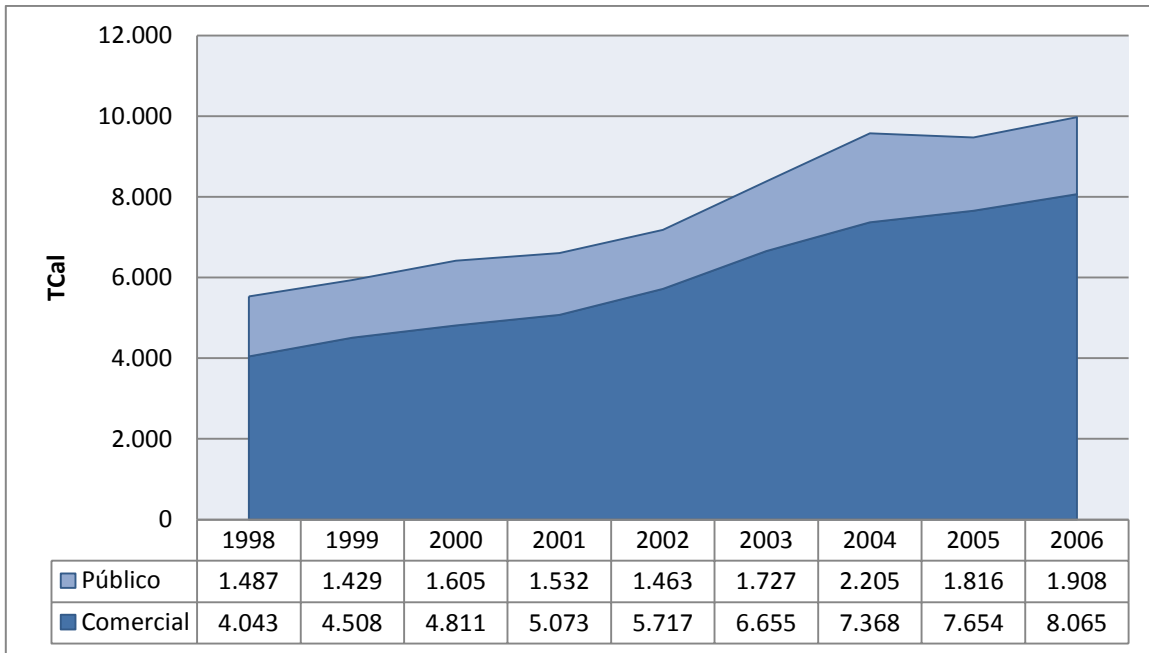


Ilustración 7: Serie de tiempo de energía total consumida sector comercial y público (1998-2006) (Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía).

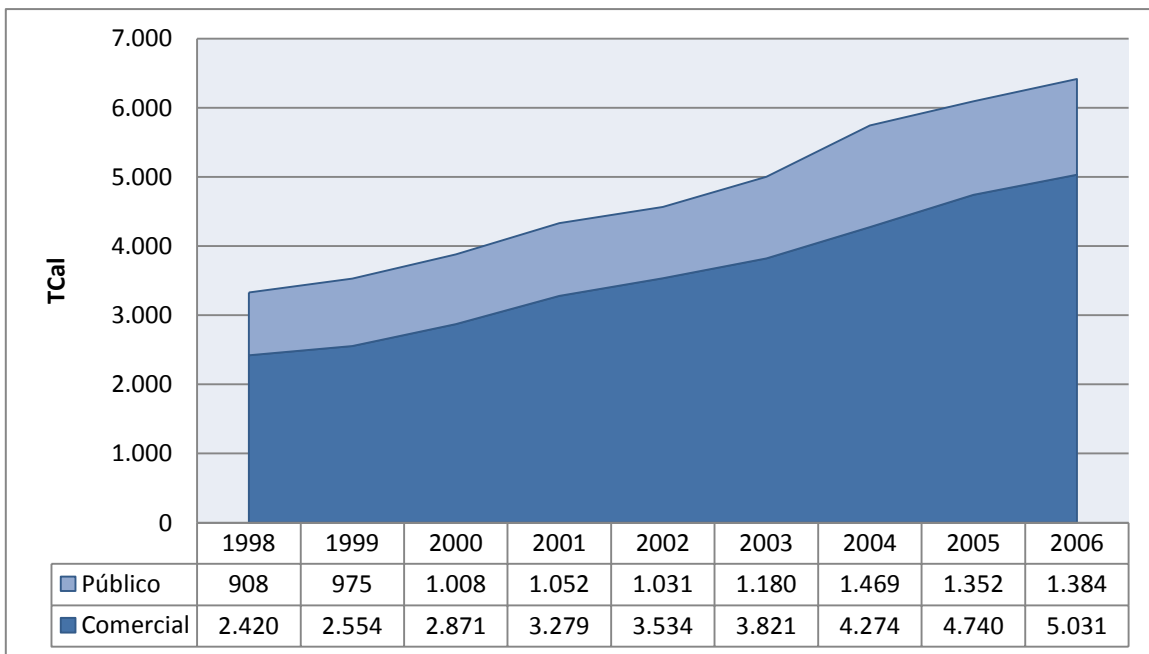


Ilustración 8: Serie de tiempo de energía eléctrica consumida sector comercial y público (1998-2006) (Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía).

La Ilustración 8 muestra que el sector comercial y público ha aumentado su consumo eléctrico en una tasa inferior a su consumo energético total, el cual ha crecido un 7.8% anualmente, mientras que el sector público en 4%. Por lo mismo, el sector público ha aumentado su consumo energético eléctrico a una mayor tasa que combustibles, o energía primaria.

#### **4.1.2.1 Sector Comercial**

Como se explicó anteriormente el sector comercial está pobremente caracterizado, existiendo información agregada a nivel nacional. Se han realizado estudios específicos para sectores en particular, pero lamentablemente representan una parte acotada del sector comercial total (retail por ejemplo), y ha habido ciertos estudios de otros sectores que han mezclado el sector público con el privado (por ejemplo el análisis de consumos de centros asistenciales, o bien el sector educacional secundario). Sin embargo estos estudios permiten reforzar y estimar consumos individuales de edificios y caracterizar usos finales. Esto quiere decir que debido a la información escueta detectada para representar el sector, la demanda se tomará sin vinculación con artefactos para uno o más subsectores, sino a servicios prestados por estos artefactos.

La mejor información disponible sobre tendencias del sector comercial está en el catastro de permisos de edificación. En este sentido el INE realiza anualmente la Encuesta de Edificación Mensual (INE, 2007). En ella se definen 3 tipos de edificaciones no residenciales: Comercio, Establecimientos Financieros y Servicios. El comercio considera bodegas, tiendas, almacenes, estaciones de gasolina, restaurantes, hoteles, residenciales, moteles y otros. En "otros" se considera edificaciones de transporte, comunicaciones, electricidad, gas y agua, construcción, oficinas, bodegas, etc. Los establecimientos financieros consideran bancos, asociaciones de ahorro, crédito, y compañías de seguros. En servicios se considera instituciones de educación a todo nivel (desde pre-escolar a superior), servicios médicos, asilos, diversión esparcimiento y cultura (cines, estudios de radio, teatros, televisión, museos, etc.), servicios personales del hogar (talleres de reparación eléctrica, calzado, lavanderías, peluquerías), ONGs, organizaciones internacionales, administración pública y defensa.

Se considera, para efectos de este estudio, como sector comercial y público todas las edificaciones no vivienda a excepción del sector industrial. Se considerará el sector comercial como todas las edificaciones no vivienda de carácter privado, mientras que el sector público se considera las edificaciones de carácter público. La Ilustración 9 muestra que la mayoría de los m<sup>2</sup> aprobados para construcción corresponden al sector vivienda. El sector servicios le sigue con alrededor de 15%, y en menor medida el comercio, y otros. Para estimar el Stock de construcción del sector comercial y público se construye la serie desde 1983 de los permisos de edificación y se le suma un 80% de los permisos anuales de edificación (Ilustración 10). Para poder separar la construcción entre público y residencial se dividen arbitrariamente entre 75% en sector comercial y 25% de sector público, en proporción al consumo total de energía del año 2006 (CNE, 2007). La Ilustración

11 muestra la serie de tiempo de stock acumulado de construcción desde el año 1983 para los sectores comercial y público, respectivamente, hasta el año 2006.

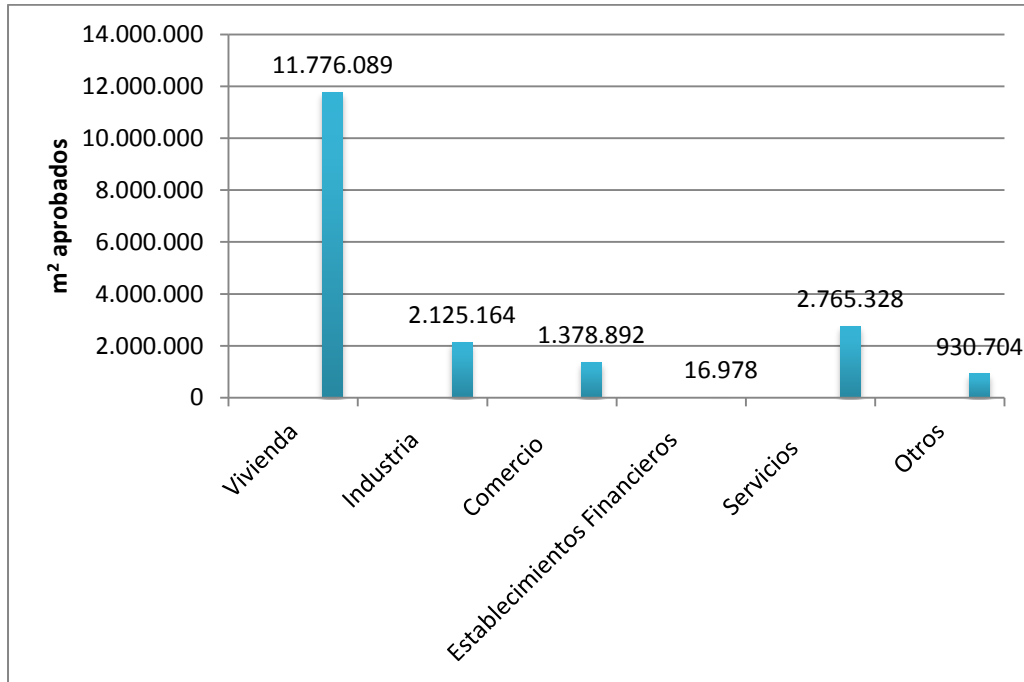


Ilustración 9: Permisos de edificaciones anuales, según sector de construcción, año 2006(INE, 2007).

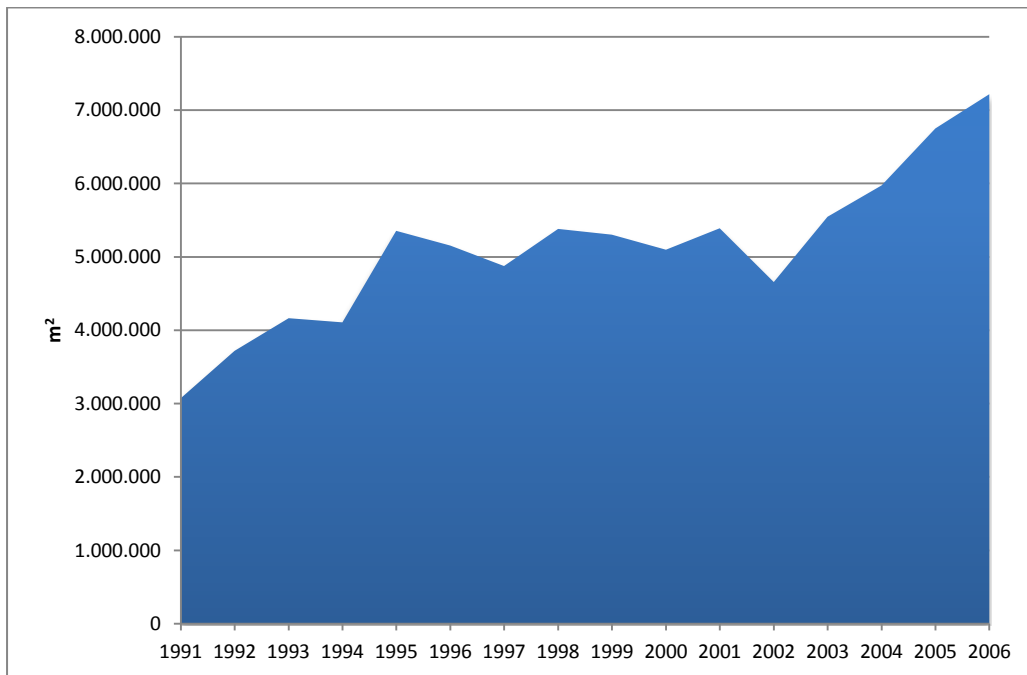


Ilustración 10: Permisos edificación anuales para sector público y residencial para período 1991 a 2006 (INE, 2007).

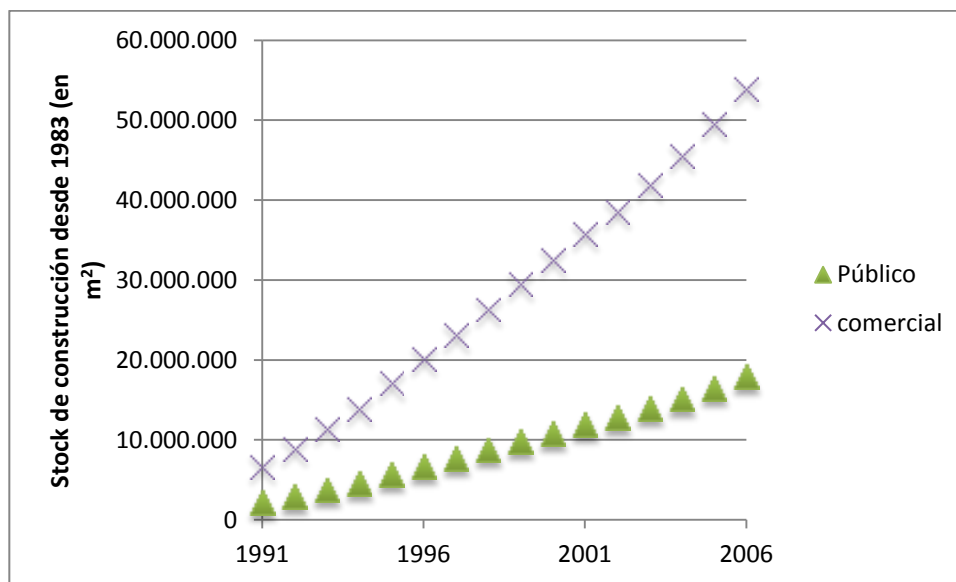


Ilustración 11: Stock acumulado de edificación comercial y pública desde 1983 (INE, 2007).

Para comparar con las cifras del Balance Nacional de Energía, estimamos que el stock nuevo de construcción ha crecido en 9.3% anual desde el período 1998 a 2006, es decir ha crecido en proporción al consumo energético total, 9% de aumento entre el sector público y comercial desde 1998 a 2006.

La razón de este análisis es que el sector comercial y público está caracterizado incompletamente, y nos interesa poder caracterizar el consumo energético en función de métricas más objetivos, como m<sup>2</sup> de construcción, para complementar el análisis específico que se ha realizado.

#### 4.1.3 Relación sector CPR con el uso de suelo

El cambio de uso de suelo ha estado históricamente relacionado con la urbanización de los países, en particular en la migración de la población de las zonas rurales a las zonas urbanas. Sin embargo, Chile ya se encuentra en niveles de urbanización elevados, como se observa en la Ilustración 12 y no se espera que este nivel aumente significativamente en los próximos años, sino se mantendrá ya que queda un remanente de población que no migra a las ciudades.

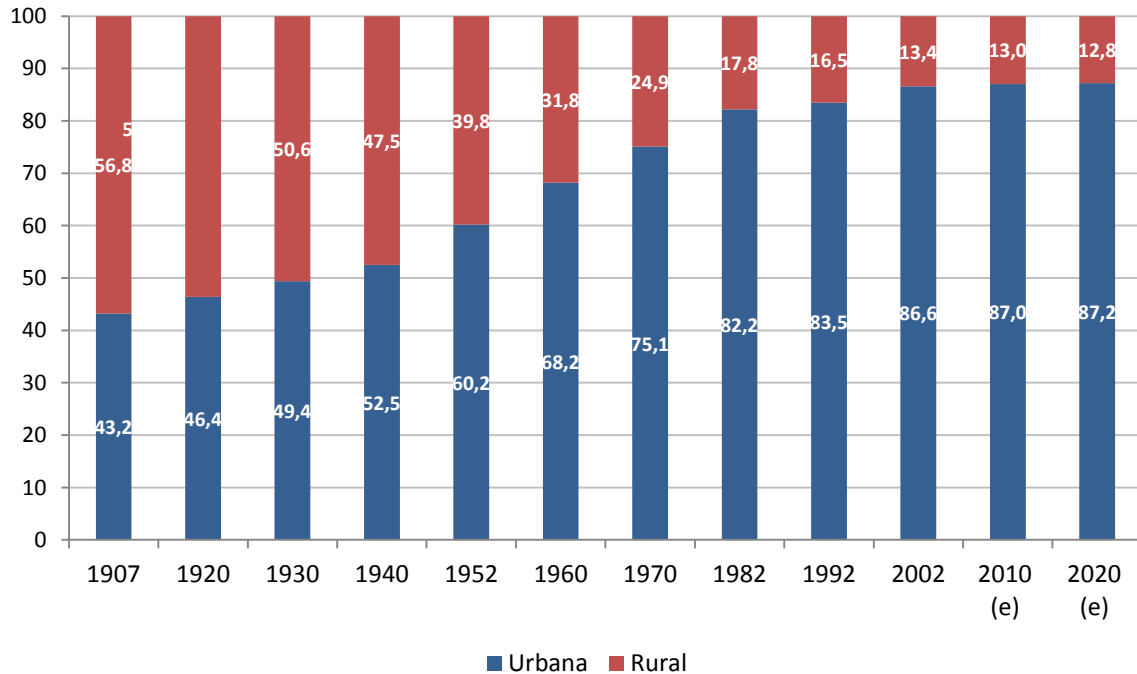


Ilustración 12: Evolución del nivel de urbanización histórico. Fuente: (INE, 2007).

A pesar de esto, las ciudades han seguido creciendo en términos de población y superficie, producto de otras variables que es importante identificar. Sin perjuicio de esto, es importante mencionar que las áreas urbanas e industriales ocupan sólo el 0.3% del territorio nacional, y el 5% si se consideran sólo los suelos agrícolas (Ilustración 13).

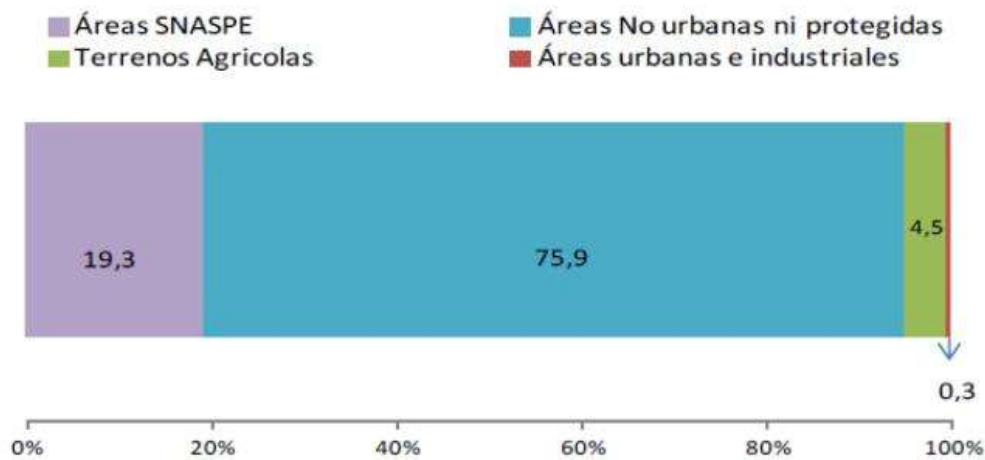
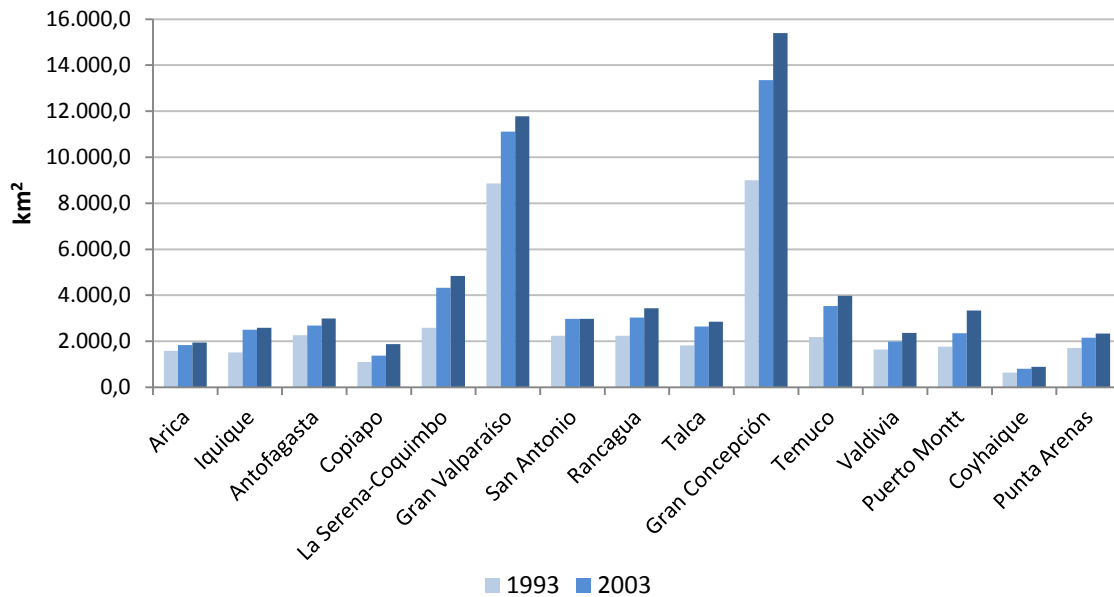


Ilustración 13: Distribución de áreas según tipo. Fuente: CONAF-Consejo de Monumentos Nacionales.

El aumento de la superficie de las ciudades ha sido una constante en los últimos años donde, en la mayoría de los casos, el aumento de superficie es mayor al aumento de la población de las mismas (Ilustración 14).



**Ilustración 14: Superficie urbanizada consolidada de las capitales regionales. Fuente: MINVU 2010.**

Esto último da cuenta de la importancia de considerar variables adicionales a las proyecciones de crecimiento del suelo urbano, que son realizadas en los planes reguladores regionales. En la actualidad, las estimaciones del aumento de suelo urbano se realizan proyectando el aumento de la población de las ciudades de acuerdo a estimaciones demográficas, como las del INE, las que se dividen por las densidades brutas definidas por los planes reguladores vigentes (PRMS y comunales), de forma de determinar la demanda de suelo en los próximos años. Sin embargo, como se ha podido observar en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago en 1994, que debía agotarse al 2019, fue modificado el 2008 con el objetivo de aumentar en 10,262 ha, de las cuales 2,599 ha estarían destinadas a áreas verdes y 6,221 ha para desarrollo urbano, con el objetivo de llegar al 2030. Esto último se explica por la existencia de diversas variables, adicionales al aumento de la población, que hacen crecer más las ciudades, y entre las que se cuentan:

- Disminución en el número de habitantes por vivienda.  
Para estimar el consumo energético de las viviendas al 2050, es necesario proyectar el número de viviendas que se irá integrando en los próximos años. Para determinar esto, se

procede a utilizar los datos de proyección de habitantes (INE), al 2050 que se encuentra desagregado por regiones y que considera diversas variables demográficas. Partiendo de esta información, es necesario obtener la proyección de habitantes por viviendas que existirá en los próximos años, de forma de determinar el número de viviendas. El valor antes mencionado no es fijo, y en todos los países que presentan crecimiento económico, esta variable tiende a disminuir como consecuencia de hogares de menor tamaño producto de tendencias de hogares biparentales con menor cantidad de hijos, hogares monoparentales, hogares bipersonales sin hijos y hogares unipersonales.

- Incremento en el parque de vehículos motorizados.  
En la actualidad, Chile se encuentra en niveles de 250 – 300 vehículos por cada 1,000 habitantes, aún lejano al de países más desarrollados, con niveles sobre 500 vehículos por cada 1,000 habitantes. Esto genera tanto una necesidad de aumento de calle y autopistas, como también, una mayor predisposición a vivir en zonas más alejadas producto de la disponibilidad de vehículos que tienen las familias.
- Mayor requerimiento de áreas verdes/habitante.  
Los nuevos planes reguladores buscan otorgar mayores áreas verdes a sus comunas, de forma de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En la actualidad, estamos lejos de los niveles recomendados por la OMS, que rondan los 9 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, llegando a 3.64 en el área Metropolitana de Santiago, por lo que existirá una tendencia a considerar esta variable en los futuros planes reguladores.
- Aumento del ingreso de las familias.  
Este factor es especialmente importante, ya que a medida que aumenta el ingreso de las familias, existe una tendencia a demandar viviendas de mayor tamaño y confort, y por ende migración a áreas periféricas, de menor costo del suelo, para obtener estos estándares. De esta forma, los factores usuales considerados para determinar la densidad bruta con lo que se calcula la necesidad de área urbanizable, debiesen considerar estos factores. Un ejemplo de este último punto se puede ver respecto a lo que ha pasado en los últimos años en Santiago, donde el crecimiento mayoritariamente se ha dado en las zonas periféricas de la ciudad (Ilustración 15). Por otro lado, el mayor ingreso del país, también genera una mayor necesidad de infraestructura (aeropuertos, centros de convenciones, autopistas, polos empresariales e industriales, etc.) que presionan a la ampliación de zonas urbanas en los alrededores de las ciudades.

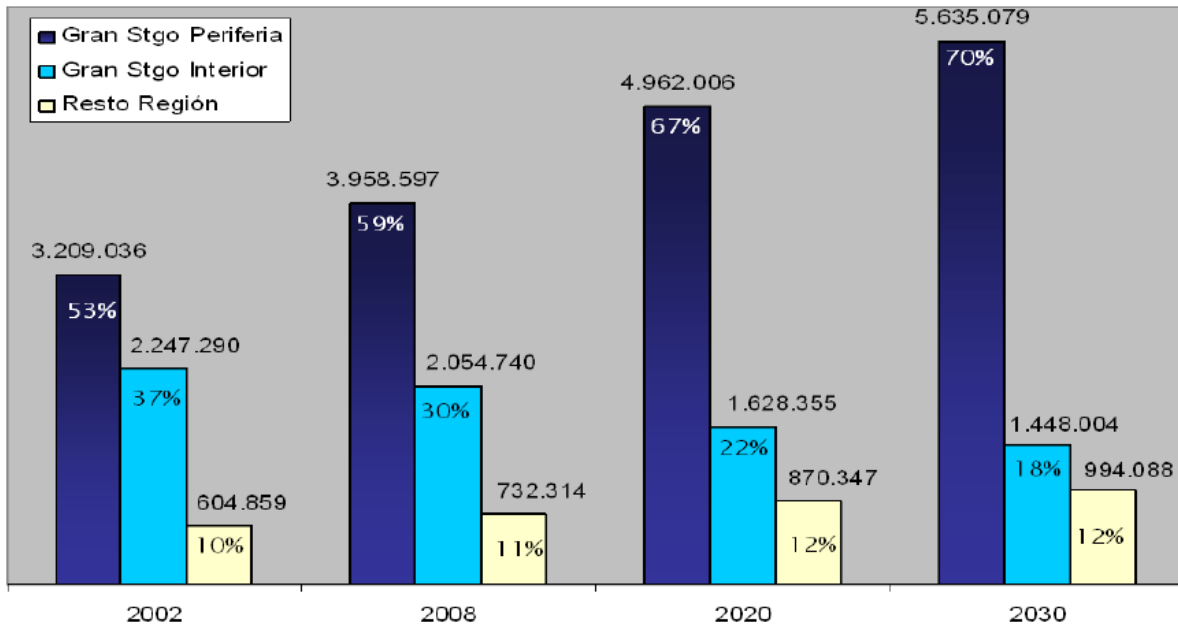


Ilustración 15: Evolución de la participación poblacional por territorios. (Fuente: Estudio Propuesta de Modificación PRMS 100, Actualización Áreas de Extensión Urbana y Reconversión).

Como conclusión, es claro que el aumento de la población determina el crecimiento de las zonas urbanas y por ende, del cambio de uso de suelo. Sin embargo, los parámetros de estimación de los pronósticos de necesidad de suelo urbanos, deben incorporar las variables antes mencionadas que varían en el horizonte de proyección de los planes reguladores, lo que seguirá sucediendo en los próximos años.

## 4.2 Definición de categorías por sector

Para la construcción del modelo que permitirá proyectar los consumos energéticos y emisiones para el sector CPR, es importante considerar variables homogéneas (patrones de consumo energético similares), los usos y las tecnologías utilizadas para consumir como las variables explicativas que permiten explicar el aumento o cambio en los patrones de consumo. Para llevar a cabo esto, se determinaron diferentes unidades base (o funcional), dependiendo del sector al que se refiere la simulación. Para este caso, las categorías se consideran en el sector residencial exclusivamente, debido a la ausencia de información sobre usos finales en el sector Público y Comercial.

#### 4.2.1 Sector Residencial

En este caso, la unidad a considerar es la vivienda, que se define de acuerdo al INE como “Toda edificación, o parte de ella destinada para el alojamiento permanente o temporal de personas”. La razón de considerar esta única unidad en el sector residencial se debe principalmente a que los consumos energéticos, tiene una base de pago por vivienda (rol), y la tipología de esta permite también determinar la demanda energética de calefacción, que en Chile es el principal consumo energético<sup>11</sup>, y por ende, de emisiones de GEI. Se considera esto puesto que muchos artefactos son utilizados y compartidos en la unidad de vivienda. Adicionalmente, los consumos energéticos térmicos se explican en parte por las características del tipo de vivienda. En cambio, un posible análisis por población no refleja este aspecto.

Si bien la unidad base para este sector ya está definida, es importante considerar otras variables que influirán en la proyección de las emisiones durante el horizonte de evaluación. Para esto, se analizarán diversas subcategorías posibles, de forma de estimar cuáles son las que presentan mayores diferencias respecto a consumo energético, y de esta forma es importante considerarlas separadamente. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se analizaron las siguientes subcategorías:

1. Zona térmica a la que pertenece la vivienda.

Debido a la amplia gama de latitudes que presenta la geografía chilena, existe una diversa cantidad de climas que van desde climas subtropicales, en el extremo norte, a climas muy fríos como los del extremo sur. Para efectos de este análisis, se propone separar en tres categorías geográficas, con distintas condiciones de clima y demanda energética:

1. Zona A (Norte-Centro Norte): compuesta por las zonas térmicas 1 y 2.
2. Zona B (Centro Sur – Sur): compuesto por las zonas térmicas 3, 4 y 5.
3. Zona C (Sur -Austral – Cordillera): compuesto por las zonas térmicas 6 y 7.

2. Tipología constructiva de vivienda.

Se ha considerado adecuado separar las viviendas de acuerdo a su tipología constructiva en dos grupos; vivienda unifamiliar (aislada, pareada o en fila), y vivienda multifamiliares. Esto se fundamenta en dos razones: por un lado, el crecimiento de las ciudades se manifiesta a través del incremento en la construcción de edificios y por otro lado la menor demanda energética en calefacción que presentan las viviendas en edificios multiviviendas en relación a las casas, debido a la menor cantidad de paredes expuestas al exterior.

En relación al primer punto, si bien se ha mencionado que el porcentaje de viviendas en edificios multiviviendas para el año 2006 no superaba el 10% a nivel nacional, la densificación de las ciudades ha llevado a un incremento en la construcción de edificios. De hecho, si se compara la situación de la RM entre 1992 y el 2002, se puede apreciar que

---

<sup>11</sup> De acuerdo al estudio (CDT, 2009).

la participación de los departamentos en la región pasó de un 17.3% a un 21.9%, pasando de existir 212,266 departamentos a 335,313 departamentos el 2002. Incluso, algunas de las comunas más densas aumentaron sobre un 10% la participación de los departamentos, situación que se dio en las comunas de Santiago, Providencia, Las Condes, Ñuñoa, Vitacura, San Miguel, Colina y Quilicura. De esta forma, la mayor densificación de las ciudades provocará un incremento en la participación de departamentos, si es que además las regiones siguen el comportamiento de la R.M. (lo que está sucediendo), y es importante considerarlo como una subcategorización en el modelo.

3. Zona Urbana o Rural.

Se considera relevante separar las viviendas de acuerdo a este criterio, ya que por un lado permitirá estimar los consumos energéticos y emisiones derivados de las proyecciones de centralización de las viviendas (existe tendencia a migrar a zonas urbanas), y por otro lado, permite hacer proyecciones separadas del consumo de leña, que corresponde al principal energético del sector residencial, y que presentará una menor presencia en las ciudades en los próximos años, producto de factores medioambientales.

4. Ubicación geográfica respecto al sistema interconectado (SIC o SING).

La separación de las viviendas de acuerdo a los dos sistemas interconectados principales, permitirá especialmente, en el caso del consumo eléctrico residencial, obtener las demandas eléctricas para cada sistema por separado.

## 4.3 Variables explicativas

### 4.3.1 Población

La población y su aumento, es una de las principales variables que explica la proyección del número de viviendas<sup>12</sup>, su distribución a nivel regional y por zona térmica, y el aumento de artefactos eléctricos, para el uso de ACS, cocción y uso térmico. La distribución de la población por región, se realizó por medio de una regresión cuadrática entre los años 2016 a 2020 del INE (2005), y ajustado a la proyección del total que estima INE y CEPAL al 2050. A continuación, se presentan las ecuaciones resultantes de estas regresiones y los respectivos coeficientes de regresión:

$$1a \text{ Región: } Tcr = 2 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 9 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0091R^2 = 0.966$$

$$2a \text{ Región: } Tcr = 1 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 1 \cdot 10^{-4}(x - 2016) + 1.0094R^2 = 0.9999$$

$$3a \text{ Región: } Tcr = -6 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 3 \cdot 10^{-6}(x - 2016) + 1.0064R^2 = 0.9234$$

<sup>12</sup> De acuerdo a lo mencionado en la sección 4.1.3.

$$4a \text{ Región: } Tcr = 1 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 2 \cdot 10^{-4}(x - 2016) + 1.0127R^2 = 0.9998$$

$$5a \text{ Región: } Tcr = 2 \cdot 10^{-7}(x - 2016)^2 - 8 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0092R^2 = 0.9997$$

$$6a \text{ Región: } Tcr = -2 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 6 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0085R^2 = 0.9993$$

$$7a \text{ Región: } Tcr = 2 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 6 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0069R^2 = 0.9986$$

$$8a \text{ Región: } Tcr = -1 \cdot 10^{-7}(x - 2016)^2 - 3 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0053R^2 = 0.9979$$

$$9a \text{ Región: } Tcr = -2 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 4 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0073R^2 = 0.9992$$

$$10a \text{ Región: } Tcr = y = 1 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 7 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.008R^2 = 0.9992$$

$$11a \text{ Región: } Tcr = -1 \cdot 10^{-5}(x - 2016)^2 + 4 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0077R^2 = 0.6746$$

$$12a \text{ Región: } Tcr = 4 \cdot 10^{-6}(x - 2016)^2 - 4 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0024R^2 = 0.5921$$

$$13a \text{ Región: } Tcr = 9 \cdot 10^{-7}(x - 2016)^2 - 6 \cdot 10^{-5}(x - 2016) + 1.0075R^2 = 0.9999$$

Donde Tcr es la tasa de crecimiento regional y x son los años.

Las diferencias entre la suma de los resultados a partir de estas ecuaciones y las proyecciones totales consideradas por el INE y Cepal (2004), fueron repartidas proporcionalmente para cada una de las regiones, iterando hasta alcanzar una diferencia igual a cero. Con estos cálculos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 12: Proyección regional de población basada en metodología (Elaboración propia en base a CEPAL (2004) e INE (2005)).**

Regiones	2006	2020	2030	2040	2050
1a Región	475,797	550,390	587,901	606,563	604,325
2a Región	547,933	635,800	681,231	709,313	723,734
3a Región	272,402	299,954	312,032	311,405	296,397
4a Región	677,300	817,990	899,128	954,642	987,176
5a Región	1,682,005	1,934,895	2,067,817	2,143,057	2167298
6a Región	849,120	964,325	1,023,352	1,048,275	1,038,052
7a Región	975,244	1,083,275	1,137,292	1,168,350	1,186,934
8a Región	1,982,649	2,154,148	2,226,330	2,241,526	2,210,775
9a Región	937,259	1,046,770	1,099,700	1,118,507	1,104,139
10a Región	1,168,241	1,323,518	1,401,947	1,446,327	1,465,737
11a Región	100,417	114,252	119,971	118,777	108,700
12a Región	156,502	163,070	164,429	163,434	162,346
13a Región	6,607,805	7,460,708	7,865,991	8,080,146	8,149,166
<b>Total</b>	<b>16,432,674</b>	<b>18,549,095</b>	<b>19,587,121</b>	<b>20,110,322</b>	<b>20,204,779</b>

### 4.3.2 PIB

Una de las variables más relevantes que determina, junto con las proyecciones de población, el aumento de viviendas, la tenencia de artefactos, entre otros, es la proyección del PIB. Para estos fines se utilizaron 5 escenarios de PIB en base a información entregada por la contraparte del Proyecto.

1. Escenario de referencia.
2. Escenario medio bajo.
3. Escenario medio alto.
4. Escenario optimista.
5. Escenario pesimista.

A continuación se presentan las proyecciones de los diferentes escenarios:

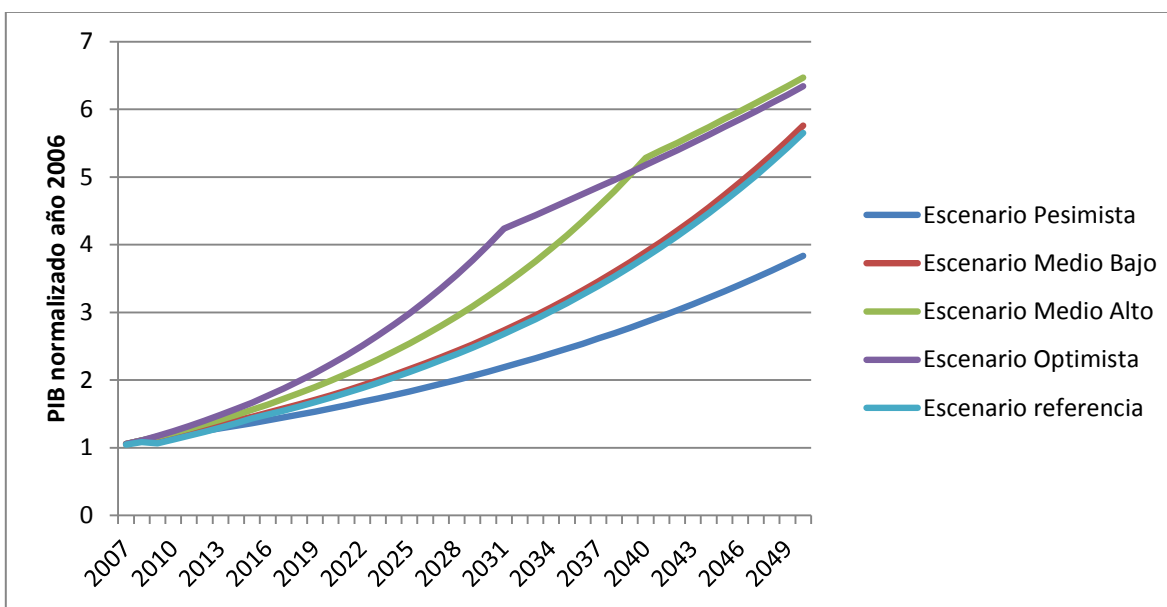


Ilustración 16: Proyecciones del PIB al 2050, normalizado con PIB del año 2006.

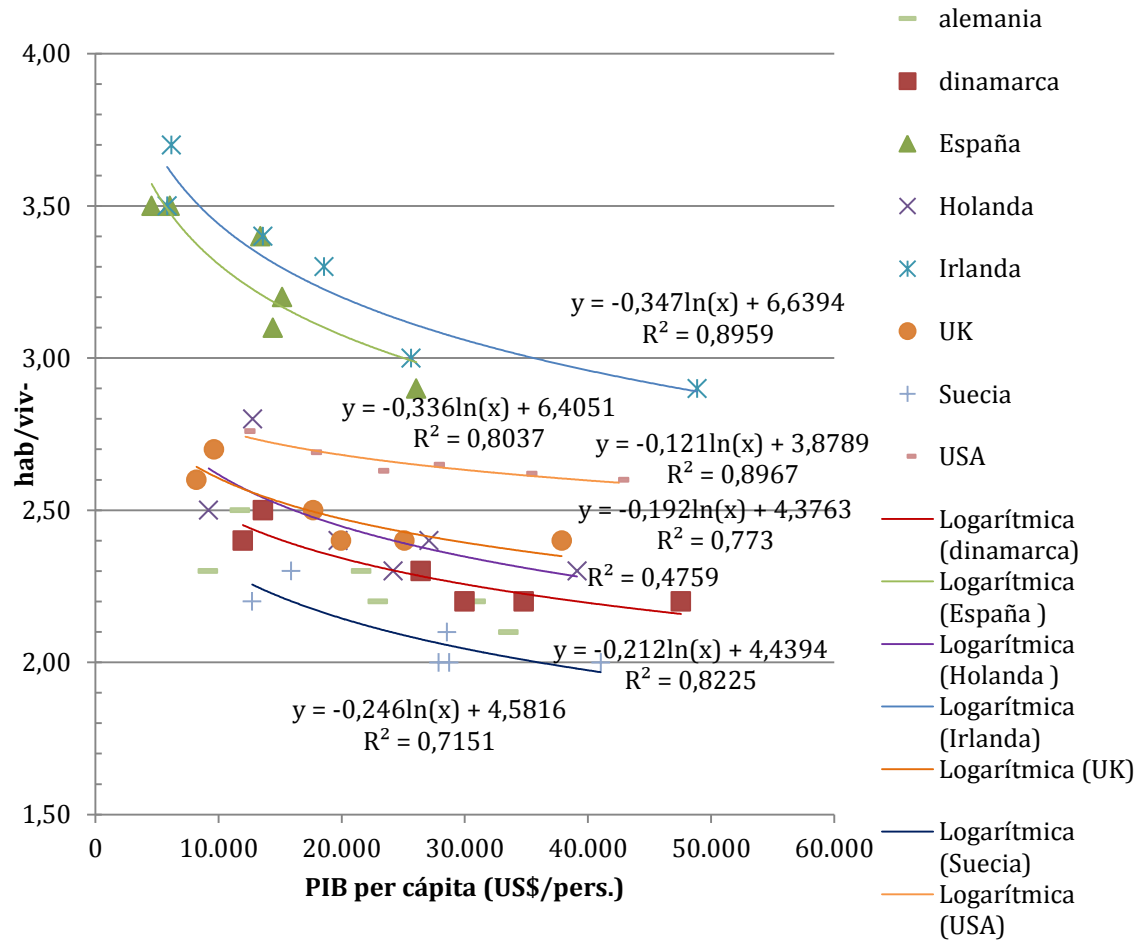
### 4.3.3 Habitantes por vivienda

Otra variable relevante a considerar es el número de habitantes por vivienda, ya que obteniendo la proyección de habitantes, es posible obtener usando este indicador, el parque de viviendas, donde estas son la unidad base de consumo energético, y por ende, de emisiones. Las estimaciones de crecimiento del parque de viviendas se proyectan de acuerdo a las proyecciones de crecimiento de la población obtenidas del estudio “Chile: Proyecciones de la Población por Sexo

según Edad, Total País, 1950-2050, INE-CEPAL”, que poseen estimaciones desagregadas por regiones hasta el 2020, y de total de habitantes hasta el 2050, y de proyecciones de la disminución del número de habitantes por vivienda, de acuerdo a tendencias históricas y comparaciones internacionales.

Para estimar la disminución del número de habitantes por viviendas, se siguieron las tendencias históricas de habitantes/viviendas en cada región que se obtiene de los últimos dos censos de población (1992 y 2002). De acuerdo a esto, entre los años 1992 y 2002, disminuyó de 4.23 a 3.8 el número de habitantes por vivienda, y se espera la tendencia siga hasta llegar a niveles de países de mayor desarrollo y densificación, cuya ocupación es del orden de 2.1 – 2.3 habitantes por viviendas, y se mantenga en ese nivel, de acuerdo a lo que se ha visto históricamente en estos países y de acuerdo al juicio experto de urbanistas (Comunicación Personal, Iván Poduje).

Es importante considerar la forma en que decrece el número de habitantes por vivienda, y su correlación con otras variables explicativas. Para esto, inicialmente se procedió a comparar la situación de Chile, con países que experimentaron decrecimiento en esta variable, y un aumento del PIB. Si bien, todos los países desarrollados han experimentado estas tendencias, la mayoría de ellos presentaron una menor cantidad de hab./vivienda para los niveles de PIB de Chile, lo que implica que culturalmente han sido familias más pequeñas (Federcasa, 2006). Considerando 8 países desarrollados se pueden observar las siguientes tendencias:



**Ilustración 17: Habitantes por vivienda y su relación con el PIB per cápita. Elaboración Propia en base a Federcasa (2006).**

A partir de los datos anteriores, se tomaron los dos casos similares a la situación de Chile, estos son España e Irlanda, cuya evolución de habitantes por vivienda, además de disminuir a medida que aumentó su ingreso per-cápita, posee niveles más cercanos a los nacionales. En el resto de los países analizados, el tamaño de los hogares fue sustancialmente menor cuando tuvieron niveles de PIB per cápita similares al de Chile a principios del año 2000 (ver anexos). De acuerdo a esto, para efectos de calcular la evolución de habitantes por vivienda de acuerdo al ingreso per-cápita, se procedió a proyectar linealmente este indicador, usando la misma pendiente de disminución del número de habitantes/vivienda de España respecto al PIB per-cápita, eso sí, partiendo de los valores de habitantes/vivienda de Chile para el año 2002 (obtenidas del censo 2002), hasta llegar a niveles de 2.2 hab/vivienda que de acuerdo a juicio de expertos, serían los tamaños mínimos de viviendas, y manteniendo ese nivel posteriormente. La proyección mencionada se muestra en la siguiente figura.

**Tendencia de habitantes por vivienda y su relación al PIB per cápita en Chile**

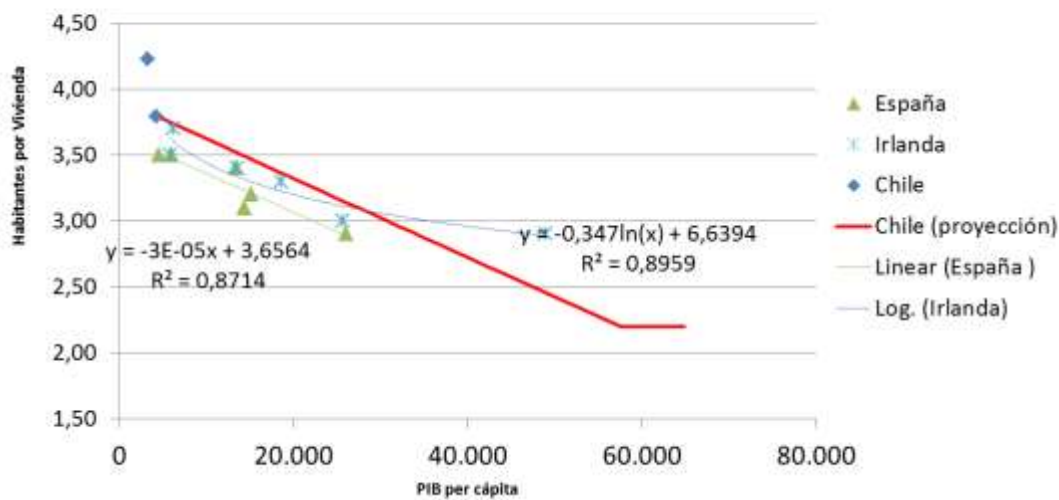


Ilustración 18: Tendencia de habitantes por vivienda y su relación al PIB per cápita en Chile.

Para efectos de estimar el efecto de esta proyección en los resultados finales de emisión, se procedió a estimar otros escenarios de evolución de habitantes por vivienda, modificando la pendiente antes mencionada, llegando antes o después al nivel de habitantes por vivienda de régimen. Esto se puede observar en el capítulo de sensibilidades, y como se observa ahí, el efecto en términos de emisiones no es importante.

Finalmente, se llega a distintos escenarios de hab/vivienda durante el horizonte de evaluación, dependiendo de la proyección de PIB que se utilice. Como ejemplo, se presenta la proyección de viviendas para el escenario de PIB medio bajo:

Tabla 13: Proyección de aumento de viviendas 2006-2050, en miles de viviendas para escenario PIB medio bajo.

Zona	2006	2020	2030	2050
Zona C	255	305	352	472
Zona B	3,173	3,810	4,393	5,902
Zona A	909	1,126	1,321	1,795
<b>Total Viviendas</b>	<b>4,337</b>	<b>5,242</b>	<b>6,066</b>	<b>8,170</b>
<b>Habitantes/vivienda</b>	<b>3.79</b>	<b>3.58</b>	<b>3.34</b>	<b>2.43</b>
<b>Ingreso Vivienda c/Reg. Térmica</b>		<b>905</b>	<b>1,729</b>	<b>3,833</b>
<b>Porcentaje del parque total</b>		<b>17%</b>	<b>29%</b>	<b>47%</b>

De acuerdo a estas proyecciones, al 2050 habría poco más de 8 millones de viviendas, siendo la zona térmica B, la que presente el mayor crecimiento. Si bien puede parecer importante el aumento de viviendas al 2050, este incremento es menor porcentualmente al que se ha tenido entre el año 1982, cuando existían 2.5 millones de viviendas, y el 2012, cuando se ha llegado a 5.7 millones de viviendas, es decir un aumento en 30 años de un 127% en el parque de viviendas.

De este parque, más de la mitad serían viviendas acogidas a la reglamentación térmica, y por ende mayores niveles de aislación.

#### 4.3.4 Zonificación térmica, tipo de vivienda y sistema eléctrico

La zonificación térmica corresponde a divisiones geográficas del territorio nacional con características comunes en las cuales se relacionan consumos a nivel térmico por vivienda. Debido a la amplia gama de latitudes que presenta la geografía chilena, existe una diversa cantidad de climas que van desde climas subtropicales, en el extremo norte, a climas muy fríos como los del extremo sur. A continuación se presenta un mapa indicativo con la ubicación de las diferentes zonas geográficas:

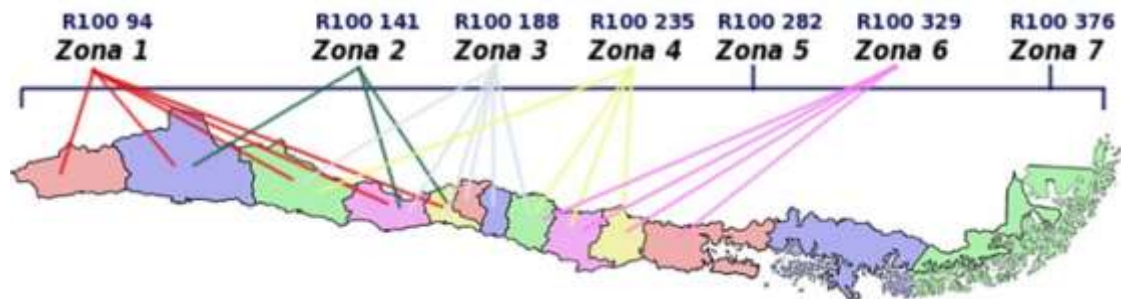


Ilustración 19: Zonas térmicas por región.

Como se señaló en capítulos anteriores, para este estudio se agruparon las 7 zonas térmicas en 3 grandes zonas (A, B y C). Estas zonas son relevantes de considerar para estimar las demandas térmicas por vivienda. La demanda térmica de la vivienda se define como la cantidad de energía requerida por las viviendas para mantener condiciones de confort durante todo el año (temperatura en el rango de 19-22°C), y depende de la materialidad de la vivienda, la tipología constructiva y las condiciones climáticas del lugar en que se encuentra. En la siguiente tabla se muestra el número de viviendas para las 7 zonas térmicas:

Tabla 14: Distribución del número de viviendas al 2006. Fuente: (MIDEPLAN, 2006).

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
368,726	539,929	2,018,544	791,556	363,326	183,135	71,850

Adicionalmente, para estimar la materialidad y tipologías constructivas, se procedió a considerar las siguientes tipologías:

Tabla 15: Tipologías de viviendas consideradas. Fuente: (CDT, 2009).

Tipo	Tipología	Presencia
Casa	Aislada 1 piso	29.40%
	Aislada 2 pisos	8.30%
	Casa Fila	3.80%
	Casa Pareada 1 piso	23.90%
	Casa Pareada 2 pisos	14.80%
Departamento		14.10%
<b>Total</b>		<b>94.30%</b>

Estas tipologías, en su gran mayoría corresponden a albañilería de ladrillo y tabiquería (a excepción de los departamentos, que son construidos en base a hormigón). Como se puede apreciar, estas tipologías son responsables de más del 90% de las viviendas del país, por lo que es apropiado basarse en ellas para estimar la demanda térmica de las viviendas.

Una vez caracterizadas las viviendas, se aplicó un promedio ponderado considerando la zona térmica, la agrupación de viviendas (Urbano Casa y Otros, Rural Casa y Departamento) y el número de viviendas, para así obtener la agrupación en las 3 grandes zonas térmicas.

A continuación se procede a presentar la demanda térmica de acuerdo a la zona climática, materialidad y tipología constructiva. Esta información ha sido calculada en diversos estudios<sup>13</sup>, por lo que en esta recopilación se procede a utilizarlos como resultado final. De acuerdo a esto, se obtiene la siguiente demanda térmica por zona climática:

<sup>13</sup>(MINVU, 2006) y (CDT, 2009).

Tabla 16: Requerimientos térmicos por zona y tipo de construcción. Fuente:(CDT, 2009).

Zonificación	Tipificación de construcción	Sin RT (KWh/m <sup>2</sup> )	Con RT (KWh/m <sup>2</sup> )
Zona A	Urbano Depto.	19.2	17.9
	Urbano Casa y Otros	118.9	88.2
	Rural Casa	118.9	88.2
Zona B	Urbano Depto.	62.8	52.7
	Urbano Casa y Otros	268.7	153.4
	Rural Casa	268.7	153.4
Zona C	Urbano Depto.	131.4	82.2
	Urbano Casa y Otros	520.3	205.1
	Rural Casa	520.3	205.1

En este contexto, se observa que la demanda térmica de las viviendas aumenta a medida que se ubican en climas más fríos, y por otro lado, los departamentos presentan menores demandas energéticas, al presentar menos lados expuestos al exterior.

Respecto a la distribución de viviendas por región y sistema, se considera constante en los distintos escenarios. Esta distribución se muestra a continuación:

Tabla 17: Distribución porcentual de viviendas por Zona Térmica, Sistema y Región (Elaboración propia en base a (MIDEPLAN, 2006)).

Región	SING			AYSEN			Magallanes			SIC		
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C
1	99.18%	0.00%	0.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	98.05%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.90%	0.00%	0.00%
3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	97.97%	2.03%	0.00%
4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	99.29%	0.71%	0.00%
5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	94.93%	5.07%	0.00%
6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%
9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	94.58%	5.42%
10	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	45.65%	54.35%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%

### 4.3.5 Tenencia de artefactos y consumo de combustibles

Para el sector residencial, las características de tenencia y uso de artefactos definen el consumo de combustibles. Se asume que la tecnología determina el combustible, y el precio de este sólo afecta al uso de la tecnología en vez del reemplazo de esta para un mismo uso final. Para inferir el consumo de energía para el horizonte de evaluación, se procederá a separar el consumo de acuerdo a las tres categorías anteriormente descritas: calefacción, artefactos eléctricos y agua caliente sanitaria y cocina.

Como se planteó anteriormente, cada una de estas subcategorías será proyectada de forma diferente debido a las características específicas de los usos finales, los que pueden depender de hábitos, tipos de combustible usados, normativas futuras, etc. De acuerdo a esto, se deben hacer las siguientes consideraciones para cada una de ellas:

#### 4.3.5.1 Calefacción

Corresponde al principal uso final de la energía a nivel residencial, siendo responsable del 56.3% del consumo final de energía. Para efectos de obtener la tendencia del uso de calefacción, se procederá a estimar los consumos energéticos actuales de las viviendas por metro cuadrado, y se proyectarán hasta llegar a niveles de confort térmico<sup>14</sup>. Esto, considerando la distribución y requerimientos por zona térmica, para cada uno de los escenarios de PIB solicitado. Se estima que entre los 30,000 y 35,000 US\$/persona/año, la población prioriza niveles de confort en sus viviendas y que todo el parque de vivienda logra ese status. Esta proyección se realiza de forma lineal, y considerando distintas demandas energéticas para viviendas existentes y para las nuevas construidas con posterioridad a la reglamentación térmica. El diagrama conceptual<sup>15</sup> de la proyección se observa en la Ilustración 20.

---

<sup>14</sup> Para estimar el nivel de confort térmico, se procederá a realizar simulaciones de viviendas promedio por subcategoría (zona, sector urbano /rural, tipo de vivienda).

<sup>15</sup> Se utiliza el término “conceptual”, ya que los valores de esta gráfica son diferentes para cada tipología constructiva y para cada zona térmica.

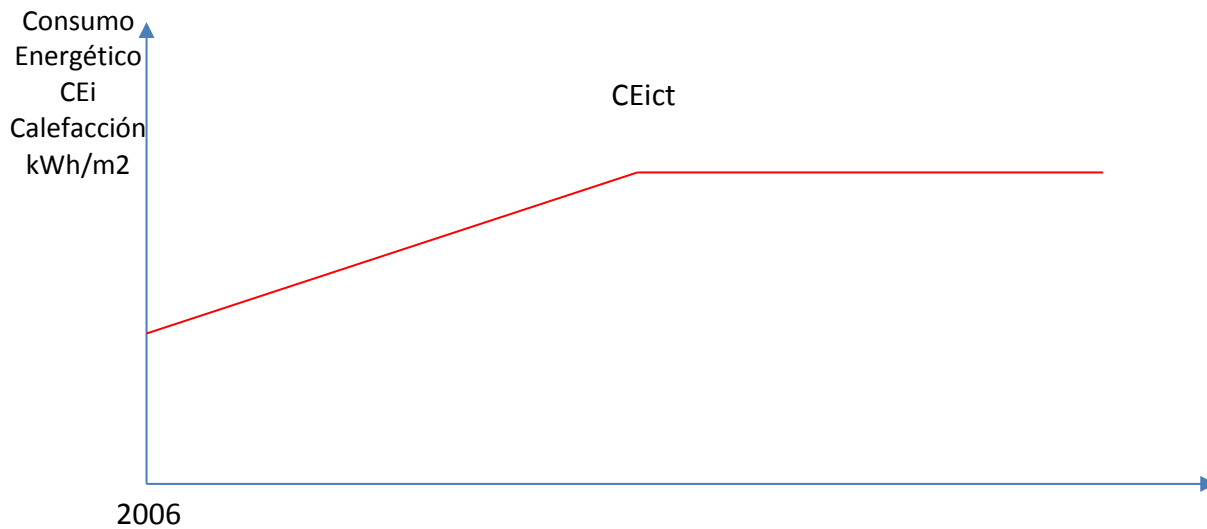


Ilustración 20: Esquema de proyección de comportamiento del consumo energético para calefacción. Elaboración propia.

Es importante considerar que a partir de logrado el confort térmico de los hogares, se mantiene este nivel, conservándose el mismo consumo energético por metro cuadrado, debido a que los hogares no necesitan más energía para estar cómodos, y por ende define el límite máximo de consumo energético, para las condiciones de tipología constructiva y zona térmica dada.

El consumo energético unitario de las viviendas, se estima a partir de la siguiente expresión:

$$CE_u = \frac{Dem_u}{Ef}$$

Donde:

$CE_u$  : corresponde al consumo energético unitario en kWh/m<sup>2</sup>/año.

$Dem_u$  : corresponde a la demanda térmica unitaria en kWh/m<sup>2</sup>/año.

$Ef$  : corresponde a la eficiencia térmica del equipo de calefacción.

Las eficiencias consideradas se muestran a continuación:

**Tabla 18: Eficiencia de equipos de calefacción. Fuente: Elaboración propia en base a varios estudios.**<sup>16</sup>

Eficiencias equipos de calefacción P.C.I.:	
Caldera convencional (GN, GLP):	80%
Caldera condensación (GN, GLP):	100%
Estufa portátil (GLP, electricidad, kerosene)	95%
Estufa leña doble cámara	70%
Estufa simple leña	55%

Con esta información, es posible determinar el consumo energético de los distintos tipos de viviendas, en las distintas zonas climáticas para obtener el nivel de calefacción óptimo (confort térmico). Sin embargo, a juicio del consultor, y de acuerdo a experiencias de países con culturas similares (España, Portugal), si bien actualmente el consumo energético para calefacción es muy bajo, y va a incrementar en los próximos años, es poco probable que se llegue a niveles de confort térmicos para combustibles de precios altos. Esto quiere decir, que las viviendas mantendrán una parte de ellas en temperaturas de confort, en el caso que sólo tengan acceso a combustibles de precios altos (electricidad, GN no Magallanes, GLP y kerosene). Esto no sucedería cuando las viviendas tengan acceso al uso de leña o GN barato, donde sí alcanzarían niveles de confort. Ante esta situación, se procedió a considerar que, dependiendo del combustible usado en calefacción, se llegaría a un porcentaje del confort térmico, dependiendo de su precio. A continuación se muestran los porcentajes considerados:

**Tabla 19: Niveles de confort alcanzado por los hogares en base al precio de los combustibles. Elaboración propia.**

Energético	Esc. Base %
Leña	100%
GLP	50%
GN resto del país	50%
GN Magallanes	100%
Kerosene	50%
Electricidad	40%

Estos porcentajes se obtienen de la comparación de sus precios por kWh, respecto a los combustibles de precio bajo.<sup>17</sup> Para efectos de aclarar el concepto, se estima que en el caso de una vivienda que usa un combustible barato, como la leña, llegaría al 100% del confort térmico de su

<sup>16</sup> Los datos de las eficiencias térmicas estándar de los equipos en Poder Calorífico Inferior, se obtienen de los estudios (CDT, 2009), y (CDT, 2012).

<sup>17</sup> Si bien a diciembre del 2006 las diferencias de precios de combustibles son mayores a las que se observan en estos porcentajes, se estima que irán evolucionando, acercándose más los precios de los combustibles.

hogar, sin embargo, la vivienda que use gas licuado, sólo optaría al 50% de este valor (o a calefaccionar el 50% del área de la vivienda).

El análisis anterior, se basa en el supuesto de considerar un presupuesto fijo para calefacción en las familias, de forma que mientras más caro el combustible al que tengan acceso, menor es la cantidad de combustible que la familia usaría para este concepto. En la actualidad, las viviendas que tienen acceso a leña o gas natural de la región de Magallanes viven en niveles de confort térmico, a diferencia de aquellas que sólo tienen acceso a kerosene, GLP, GN en otras regiones o electricidad, las cuales sólo consumen una fracción de lo que necesitarían para tener su hogar en condiciones de confort. De esta forma, se estima que aumentarán su consumo, sin embargo no llegaría a niveles de confort térmico (100%), sino aumentarían hasta los porcentajes de la tabla superior, partiendo de los niveles de consumo actuales.

A partir de la información antes detallada, es posible obtener los consumos energéticos unitarios que se lograrían para el año en que se consigue este nivel de confort térmico, el cual depende del escenario de PIB que se considere. Esto quiere decir, por ejemplo, que para un escenario de PIB medio bajo, el nivel de confort se lograría el año 2035, que es cuando el país llega a los 33,000 US\$/pers., en cambio para un escenario optimista, esto se logra el año 2026.

Para efectos de comparar el efecto que tiene el supuesto de comparar escenarios de confort térmico dependiendo del tipo de combustible, en el capítulo de sensibilidades, se procede a estimar el caso en que las viviendas llegan al 100% de confort térmico, independiente del combustible y su precio, y como se podrá observar, la diferencia es significativa.

Finalmente, el consumo energético total, y las emisiones, se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_{T,Z,t,S,RT,C}(t) = CE_{uZ,t,S,RT,C}(t) \times A \times Nro.Viviendas(t)_{uZ,t,S,RT,C}$$

Donde:

$CE_{T,Z,t,S,RT,C}(t)$  = Consumo energético total del año T, de la vivienda s, de la zona Z, del tipo t, del sector S, con o sin Reglamentación Térmica (RT) y combustible C, en kWh/año.

$CE_{uZ,t,S,RT,C}$  = Consumo energético unitario del año T, de la vivienda S, de la zona Z, del tipo t, del sector S, con o sin RT y combustible C, en kWh/m<sup>2</sup>/año.

A = Área promedio de vivienda, que se estima en 77 m<sup>2</sup>.<sup>18</sup>

$Nro.Viviendas(t)_{uZ,t,S,RT,C}$  = Número de viviendas de la zona Z, tipo t, sector S, con o sin RT y combustible C, para el año T.

<sup>18</sup> Área promedio interior de vivienda de acuerdo a la encuesta realizada el 2009 a 3,200 hogares en las 7 zonas térmica, en el marco del estudio (CDT, 2009).

#### 4.3.5.2 Artefactos eléctricos

La demanda eléctrica del sector residencial será estimada mediante la proyección de uso de artefactos eléctricos en el horizonte de evaluación de los hogares en Chile. Esta proyección no es trivial, ya que si bien ha aumentado la eficiencia de los principales equipos consumidores de electricidad (refrigeradores, iluminación, televisores, etc.), ha aumentado también la tenencia de estos. De esta forma, si se compara el crecimiento del consumo eléctrico residencial desde cuando se tienen datos desagregados, es decir entre 1997 y 2006, el crecimiento promedio anual de consumo de electricidad ha sido 6%, superior al 2.7% de crecimiento del stock de viviendas, lo que implica un aumento de 3.3% en el consumo de electricidad en las viviendas. Para llevar a cabo este análisis, se separaron los equipos de acuerdo a lo siguiente:

- a) Refrigeradores y freezers.
- b) Iluminación.
- c) Televisión.
- d) Consumo por stand-by.
- e) Computadores.
- f) Aspiradoras.
- g) Lavadoras.
- h) Hervidores eléctricos.
- i) Microondas.
- j) Aire acondicionado.
- k) Equipos con potencial de crecimiento.  
Aquí se incluyen; hervidores de agua, aire acondicionado, secadoras de ropa, lavavajillas, microondas, freezers, hornos eléctricos.
- l) Otros.  
Aquí se incluyen equipos que o por su ya alta tenencia, o su menor uso actual, se considera que su consumo no va a aumentar. Aquí se consideran: lavadoras, planchas, equipos de música, DVDs, otros.

Para efectos de estimar su comportamiento en los próximos años, se procede a proyectar linealmente su saturación<sup>19</sup>, desde la situación en el año 0 (2006), hasta niveles que poseen países de mayores ingresos per cápita, y condiciones similares a las de Chile. A partir de este nivel, se

---

<sup>19</sup> Se define saturación como la proporción de un artefacto determinado, en el total de viviendas. Se obtiene dividiendo la cantidad total de artefactos por el número de viviendas (por ejemplo: en una comunidad hay 150 refrigeradores y 100 viviendas, siendo la saturación de 150%). Por otro lado, el concepto penetración se refiere a la cantidad de hogares que posee uno o más unidades de un determinado artefacto, dividido por el total de hogares (en el ejemplo anterior, los 150 refrigeradores se encuentran en 90 de la viviendas, de este modo la penetración es de 90%). Para efectos de este estudio, se usa indistintamente los términos saturación y tenencia.

considera que se mantiene este nivel de saturación hasta el final del horizonte de evaluación, como se puede observar en el esquema de la Ilustración 21.

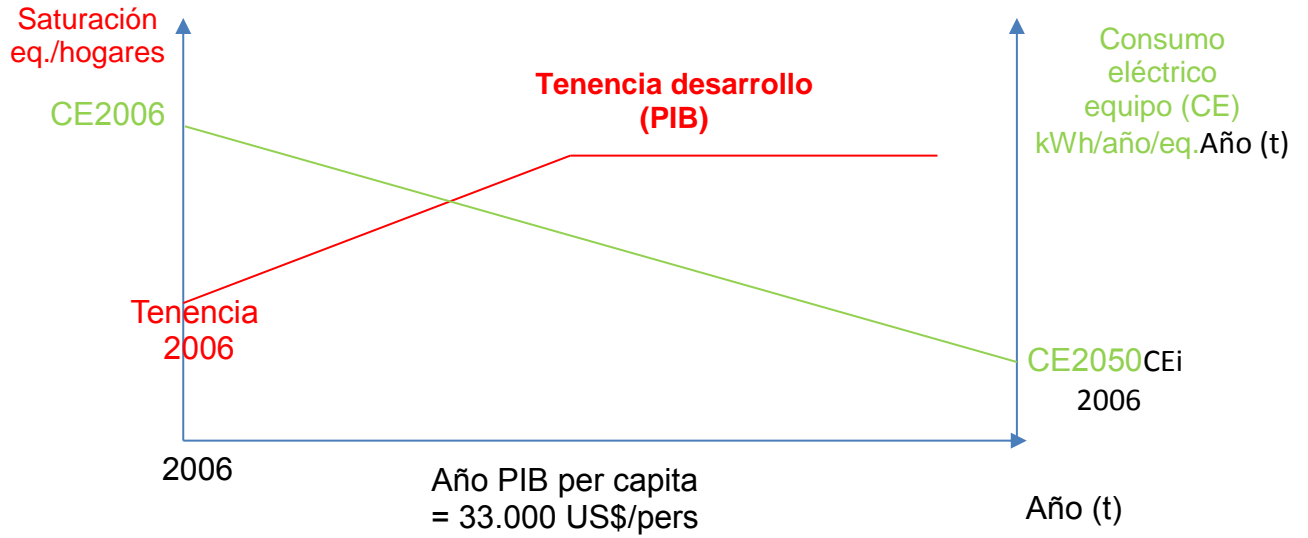


Ilustración 21: Esquema conceptual de proyección de comportamiento de equipos con potencial de crecimiento. Elaboración propia.

Para efectos de estimar los niveles de saturación a los que llegarían los hogares chilenos una vez aumente el ingreso per cápita, se tomó los casos de España y Estados Unidos, y se estimó un valor de saturación similar al de estos países, lo que se observa en la siguiente tabla:

Tabla 20: Niveles de saturación de los principales artefactos eléctricos.

	Saturación Chile (2006) <sup>20</sup>	España	USA	Valor Utilizado
<b>PIB per capita (US\$/hab)<sup>21</sup></b>		<b>32,244</b>	<b>45,191</b>	
Computadores	40%	111%	130.60%	120%
Aire Acondicionado	0.30%	50%	63.00%	55%
Horno eléctrico	8%	78%	55.20%	65%
Microondas	45%	93%		95%
Refrigerador	90%	101%	122.70%	110%
Lavavajillas	2.20%	53%	59.30%	55%
Secadora	5%	28%	79.40%	50%
Freezer	3.70%	23%	33.00%	28%

Posterior a esto, es importante determinar el consumo energético unitario de los artefactos de forma de estimar los consumos energéticos totales. Este consumo energético fue estimado para el año 2006 en base a los estudios disponibles en la época, sin embargo, históricamente los artefactos eléctricos han bajado sus consumos energéticos productos de mejoras en las tecnologías y la aplicación de los conceptos de eficiencia energética, lo que ha derivado en la masificación de ampolletas eficientes, refrigeradores de menor consumo, etc.<sup>22</sup> Esta situación debe ser considerada, de forma de establecer una línea base lo más realista posible.

Para proceder a modelar lo anterior, se consideró en algunos casos la evolución histórica del consumo energético de los artefactos, y en otros, estudios y publicaciones que proyectan cómo se disminuirá el consumo energético de estos equipos. Este valor se considera hasta el año 2025, cuando se asume que los consumos energéticos no seguirán disminuyendo en demasía, lo que coincide con proyecciones efectuadas en otros estudios. De acuerdo a esto, se considera la siguiente disminución de consumo energético unitario entre el año 2006 y el año en régimen (2025), y su explicación de cómo se considera cada artefacto:

<sup>20</sup>La información de saturación de equipos se obtuvo de la encuesta CASEN 2006 y del estudio “Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición al Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos”, CNE, 2005.

<sup>21</sup> Los valores de saturación de equipos para España y EE.UU. fueron obtenidos del proyecto proyecto SECH-SPAHOUSEC del Gobierno de España (2011) y del U.S. Energy Information Administration (2009) respectivamente. El PIB por otro lado, fue obtenido para ese año en cada país, a partir de la información entregada por el Banco Mundial (GDP per capita en US\$).

<sup>22</sup>Para efectos de este análisis, los consumos energéticos unitarios de los artefactos se estima disminuyen de acuerdo a lo explicado en el párrafo, sin embargo, también se estima que se mantienen los patrones de uso de los equipos (h/año, cargas/año, etc.), ya que no se observan cambios ambientales que puedan ocasionar mayores cambios en patrones de uso en el horizonte de evaluación.

Equipo	Disminución al consumo régimen	Observaciones:
Refrigeradores	15%	De acuerdo a las proyecciones del estudio (IEA, 2012), se estima una disminución en el consumo de electricidad de las nuevas tecnologías, que bajaría desde los 612 a los 520 kWh/año al 2030 y se mantendría. Si bien los tamaños y tipos de refrigeradores pueden ser diferentes entre el público americano y el chileno, se aplica el mismo porcentaje de reducción de consumo.
Iluminación	42%	Estimación en base al supuesto de un 100% de uso de ampolletas eficientes en el año que se logra régimen. <sup>23</sup>
Stand-by	-200%	Se aumenta el gasto en stand-by producto de la mayor cantidad de equipos.
Televisores	5%	Estimación propia. <sup>24</sup>
Computadores	10%	De acuerdo a datos obtenidos de Fuente: (Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, 2008)
Hervidor de Agua	5%	(Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, 2008).
Aire acondicionado zona A y B	15%	Avances tecnológicos similares a los refrigeradores.
Secadora	5%	Estimación propia.
Lavavajillas	20%	Avances tecnológicos similares a los refrigeradores. Se usa a experiencia australiana que posee estimaciones de disminución de consumo.
Microondas	10%	Estimación propia
Freezers	15%	Similar a refrigeradores.
HornoEléctrico	7%	Estimación propia.
Lavadoras	15%	Similar a refrigeradores.
Equipos de música	0%	Estimación propia.
Plancha	5%	Estimación propia.
DVD	0%	Estimación propia.
Condominios Iluminación	42%	Se estima de la misma forma que iluminación de viviendas.
Condominios ascensores	5%	Estimación propia.
Condominios bombas	5%	Estimación propia.

<sup>23</sup> Este porcentaje de reducción en el consumo energético se estima en base a la migración de una vivienda típica al 2006, con aproximadamente 2 ampolletas eficientes, de las 10 ampolletas promedio de una vivienda, a 12 ampolletas eficientes una vez se alcance el régimen.

<sup>24</sup> Cabe resaltar que diversos estudios internacionales (por ejemplo IPCC Guidelines vol. 2), utilizan el “*expert judgement*” como criterio para definir algunos parámetros. Esto se ve respaldado, por la experiencia en temas de tenencia y consumo energético de artefactos del sector Residencial, que presentan algunos integrantes del equipo de trabajo que desarrolló el presente estudio.

Finalmente, el consumo energético total, y las emisiones, se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_{T,A}(t) = CE_{u,A}(t) \times Sat_A(t) \times Nro. Viviendas(t)$$

Donde:

$CE_{T,A}(t)$  = Consumo energético total del año t y del artefacto A, en kWh/año.

$CE_{u,A}(t)$  = Consumo energético unitario del año t y del artefacto A, en kWh/eq/año.

$Sat_A(t)$  = Saturación del equipo A, en el año t, en %.

$Nro. Viviendas(t)$  = Número de viviendas para el año t.

#### 4.3.5.3 Agua Caliente Sanitaria y Cocción

De la misma forma que en el caso de calefacción, el uso final de Agua Caliente Sanitaria y Cocción, puede usar distintos combustibles. Para efectos de estimar la disminución del consumo energético de estos usos finales durante el horizonte de evaluación, es importante considerar separadamente el agua caliente sanitaria (ACS) de la cocción, debido principalmente a sus patrones de uso.

En el caso de uso de ACS, al 2006 poco más del 60% de las viviendas poseían calefont<sup>25</sup>, que corresponde al principal equipo generador de agua caliente (se estima que su uso es sobre el 90% de las viviendas que usan agua caliente sanitaria<sup>26</sup>). De esta forma se proyecta que en los próximos años se alcance niveles cercanos al 100% de uso de agua caliente, de la misma forma que países de mayor nivel de desarrollo. Como ejemplo, de acuerdo a (ODC, 2009), sólo un 2% no poseía acceso a agua caliente en esta ciudad, nivel que se asume debería llegar nuestro país en los próximos años. De acuerdo a esto, se proyectará que el 100% de las viviendas tendrán acceso a ACS. En forma paralela, el consumo por vivienda tenderá a disminuir producto de la llegada de nuevas tecnologías de ahorro en el uso de ACS tales como aireadores, la disminución del número de personas por vivienda y la aplicación de colectores solares térmicos, que en Chile aún presentan al año 2006 muy baja presencia. De esta forma se proyectará de acuerdo a lo que se muestra en la Ilustración 22.

<sup>25</sup> Datos obtenidos de la encuesta CASEN 2006.

<sup>26</sup> (CDT, 2009).

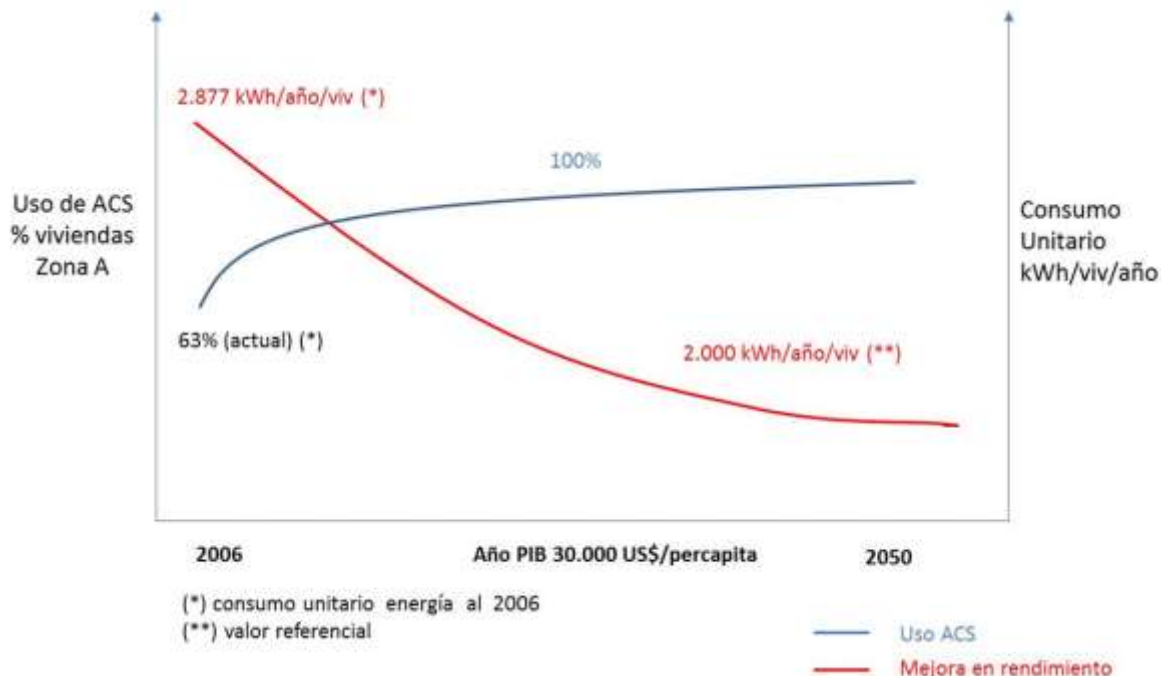


Ilustración 22: Esquema de proyección de comportamiento de uso ACS zona A. Elaboración Propia.

El consumo unitario debido al uso final de ACS, se verá afectado por los siguientes dos factores:

- a) Disminución en el número de habitantes por vivienda.  
El principal uso del ACS corresponde a las duchas, lo que es proporcional al número de habitantes por vivienda. Esta cantidad irá disminuyendo de acuerdo a lo estimado en los capítulos anteriores, y por ende el consumo debido a este uso, también disminuirá. Para estimar esto, se procedió a estimar el consumo energético por habitante para el año 2006, y se procedió a multiplicarlo por el número de habitantes por vivienda de cada año, resultando en una disminución en el consumo energético por vivienda.
- b) Aumento en el uso de sistemas solares térmicos en viviendas.  
Ya en el 2006 existían del orden de 6,000 m<sup>2</sup> instalados en el país, y se proyectaba un fuerte aumento, producto del aumento del precio de los combustibles. Para estimar su efecto, se procedió a suponer un aumento en las viviendas nuevas con colectores solares, partiendo de un 10% el 2012, hasta llegar a un 100% de las viviendas nuevas al 2025, asumiendo un 50% de ahorro en el uso de ACS. Con estos supuestos se llega al orden del 37% de viviendas con estos sistemas al 2050, y un ahorro en ACS cercano al 20%.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Los supuestos de este aumento en el uso de colectores solares térmicos se basan en el retardo que posee Chile respecto al uso de esta tecnología en relación a otros países. De hecho al 2007, países como España e Italia, con niveles de radiación similares a los de Chile poseían 20 y 18 metros cuadrados de colectores

De acuerdo al supuesto de que existirá una disminución del consumo de ACS por vivienda, se llegaría al año 2050 a un 46%<sup>28</sup> del consumo de ACS por vivienda del año 2006, pero este uso final estaría presente en el 100% de los hogares. Finalmente, el consumo energético total para ACS, se estima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_{T,c}(t) = CE_{u,c}(t) \times hab/viv(t) \times Nro.Viviendas(t)$$

Donde:

$CE_{T,c}(t)$  = Consumo energético total de ACS del año t, con el combustible C, en kWh/año.

$CE_{u,c}(t)$  = Consumo energético por persona de ACS, del año t, con el combustible C, en kWh/persona/año.

$\frac{hab}{viv}(t)$  = Habitantes por vivienda en el año t, en personas/vivienda.

$Nro. Viviendas(t)$  = Número de viviendas para el año t.

Por otra parte, se estima que el consumo energético unitario debido a cocción se mantiene constante durante el horizonte de evaluación, partiendo de los datos obtenidos para el 2006, ya que no existen grandes cambios tecnológicos que afecten a este uso final, siendo más relevante el cambio de uso de combustible<sup>29</sup>. Su consumo energético se estimó según la siguiente expresión:

$$CE_{T,c}(t) = CE_{u,c} \times Nro.Viviendas(t)$$

Donde:

$CE_{T,c}(t)$  = Consumo energético total de cocción del año t, con el combustible C, en kWh/año.

$CE_{u,c}(t)$  = Consumo energético unitario de cocción con el combustible C, en kWh/vivienda/año.

instalados cada 1.000 habitantes, a diferencia de Chile que sólo presentaba 0,5 m<sup>2</sup> cada 1.000 habitantes, de acuerdo a Info-Power, España, 2007. De esta forma, se estima que de la misma forma que en estos países, se procedería a estimular la instalación en vivienda nueva, debido a sus menores costos, partiendo de un 10% de las viviendas, hasta llegar a la totalidad de ellas, como es el caso actual de España, donde por código técnico, todas deben poseer estos sistemas.

<sup>28</sup> Esta disminución del consumo energético para ACS se debe a la disminución del número de habitantes por viviendas, los que pasan de 3,79 el 2006 a 2,47 el 2050, lo que es directamente proporcional al consumo de ACS. Adicionalmente el efecto de la incorporación de la energía solar térmica, provoca una disminución en el consumo de ACS de aproximadamente un 18%, lo que se produce debido a que el 37% del parque de viviendas contaría con esta tecnología, los que ahorran en promedio un 50% del consumo de ACS.

<sup>29</sup> Razonamiento en base a experiencia de CDT.

*Nro. Viviendas(t)* = Número de viviendas para el año t.

#### 4.3.6 Proyección del mix de combustibles

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, los usos finales de calefacción, ACS y cocina, tienen la posibilidad de usar distintos combustibles, por lo que es relevante proyectar qué combustibles serán usados, y cuáles serán reemplazados. Este análisis presenta una alta dificultad, ya que no sólo el costo de combustibles juega un rol en la decisión de los usuarios sino también aspectos ambientales, costo de las tecnologías, reticencia al cambio en el caso de viviendas existentes, etc.

En relación a la proyección de los precios de los combustibles para el sector CPR, de acuerdo a la información entregada por la contraparte técnica, sólo hay proyecciones del precio del barril de petróleo, y del índice Henry Hub, que determina el valor de transacción del GNL, sin embargo, estos valores corresponden a precio de paridad, y no consideran todos los costos de distribución, transporte y comercialización para llegar a los clientes finales, valores que difieren dependiendo del tipo de combustible. Por otro lado, no hay estimaciones de precio de la leña ni de las tarifas residenciales eléctricas, lo que impide comparar los otros combustibles con estos dos.<sup>30</sup>

Por estos motivos, se procedió a estimar la evolución del mix de combustibles, tomando en consideración lo siguiente:

a) Combustibles sin proyecciones de precios.

Esto sucede en el caso de la leña y la electricidad, de los que no se posee estimación de precios al 2050. En el caso de la leña, corresponde al combustible que presenta actualmente el menor costo a cliente final (del orden de 20 \$/kWh<sup>31</sup>), y donde un porcentaje importante es recolectado en forma gratuita, por lo que se estima que su migración a otros combustibles será difícil, tanto por su precio como accesibilidad, principalmente en las zonas rurales. En las zonas urbanas, en cambio, se estima que habrá mayores restricciones medioambientales que obliguen a una disminución en su consumo. De esta manera, se estima una disminución en zonas urbanas (por restricciones medioambientales) y se mantiene su consumo en las zonas rurales.

En el caso de la electricidad, a pesar de que es el combustible más caro de los estudiados (su precio rondaba los 90\$/kWh al 2006 en la R.M.), presenta un comportamiento diferente, ya que su facilidad de uso, menores costos de las tecnologías de calefacción eléctrica y altas eficiencias térmicas (bombas de calor, aire acondicionado, termos eléctricos), han producido un aumento en su uso, lo que se suma a la tendencia de

---

<sup>30</sup> La proyección de las tarifas eléctricas residenciales y comerciales, en base a la estimación de los combustibles, está más allá del alcance de este estudio.

<sup>31</sup> Estimación en base a datos internos CDT del año 2009.

edificios con el 100% de consumo eléctrico. De esta manera se estima un aumento en su uso, siendo mayor en los departamentos de zonas urbanas.

b) Combustibles con proyecciones de precios.

En el caso del kerosene y el GLP, cuyos precios están indexados al barril de petróleo, y del GNL, que está indexado al Henry Hub, es posible estimar el comportamiento de estos en base a las proyecciones de los dos índices. Para realizar esto, se procedió a estimar el margen de transporte, distribución y comercialización, el cual se considera fijo al 2050, y de esta forma se pueden determinar los precios de los combustibles a los clientes finales. De acuerdo a esto, se estima que en el caso residencial, tendrían el siguiente comportamiento:

**Tabla 21: Proyección de Precios de Combustibles a cliente final.**

Proyección		2006	2010	2020	2030	2040	2050
<b>GLP</b>	\$/kWh	47,4	46,7	54,4	63,4	75,7	92,8
<b>GN (cliente sobre 58 m<sup>3</sup>/mes)</b>	\$/kWh	53,0	51,1	54,0	54,0	54,0	54,0
<b>kerosene</b>	\$/kWh	43,3	42,4	53,6	67,6	86,9	113,7

Esto muestra que el GN se haría más competitivo en los últimos años como resultado de que el valor del Henry Hub se mantiene inalterado a diferencia del precio del barril de petróleo, que si considera aumentos importantes.

#### 4.3.6.1 Sector Residencial

En el caso residencial, para estimar las decisiones de cambio de combustible en función del precio de éstos, es importante aclarar que la decisión de cambio no sólo considera el precio, sino también el costo de la tecnología de calefacción a la que se desea acceder. En el caso del gas natural, por ejemplo, la factibilidad de conexión a redes de gas natural, y también la complejidad que pueda traer un nuevo sistemas de calefacción en términos de instalación (es más fácil la decisión en viviendas nuevas que en existentes).

Sin embargo, ante diferencias importantes en los precios de los combustibles en favor del GN, como los que se presentan en los últimos años, se estima que habría una migración este combustible en las zonas donde exista factibilidad de conexión, y donde los consumos energéticos sean lo suficientemente elevados, en donde por un lado, el cliente esté dispuesto en cambiar el sistema de calefacción, y por otro lado, la distribuidora a llegar a esta zona.

De esta manera, para determinar cuando los clientes migrarían al GN, se procedió a estimar un ahorro anual mínimo que gatilla la decisión de cambio y que se estima debe ser superior al costo de un sistema de calefacción a GN anualizado, que se estima en aproximadamente \$115,000<sup>32</sup>. Es decir, cuando el ahorro anual es mayor a esta cifra, las familias estarían inclinadas a cambiar de combustible, ya que habría un ahorro real incluyendo el cambio de tecnología en el hogar. Para efectos de este análisis, se considera que sobre un ahorro de 100,000 al año, se transforma en razón para cambiar al GN. De acuerdo a esto, existirían migraciones al GN en los siguientes sectores:

- Zona A: principalmente en viviendas unifamiliares urbanas, las que principalmente serían viviendas de la V región que poseen mayor demanda térmica. Las diferencias en costos de calefacción que gatillan cambio de combustible, se aprecian a partir del año 2037 para las viviendas sin RT (que requieren más calefacción), y en el año 2042 para las viviendas con RT.
- Zona B: habría cambio de combustible tanto en casas urbanas como en departamentos, lo que se produciría en los últimos años para los departamentos y a principios del 2030, para las casas.
- Zona C: en este caso no se presentan migraciones al GN principalmente debido al hecho que ya se encuentra masificado en la zona de Punta Arenas, y se mantendrá siendo relevante producto de su precio subsidiado, que para el 2006, no había razones de pensar que el valor cambiaría en los próximos años.<sup>33</sup>

De esta forma, se estima que existirá una migración desde el GLP y el kerosene al GN, en especial en los últimos años del horizonte de evaluación. La evolución de combustible por zona térmica y para cada uso final se muestra, de forma detallada, en el Anexo 5.

#### **4.3.6.2 Sector Comercial y Público**

Hacia el 2006, la escasa información tanto de los usos como de los costos de los combustibles, no permite realizar un análisis profundo del comportamiento de los sectores Comercial y Público en cuanto al uso de combustibles. A partir de la recopilación de balances nacionales de energía, se observa un aumento en el uso de diesel, especialmente entre el 2003 y el 2004 el cual podría haber sido utilizado como respaldo eléctrico por estos sectores.

---

<sup>32</sup> Este valor se obtiene de anualizar la inversión de un sistema de calefacción a GN, que se estima en \$1,000,000 anualizado a 15 años (vida útil), a una tasa de descuento del 8%. Es decir, una persona estaría dispuesta a cambiar su sistema, si los ahorros son mayores a los 115,000 \$/año

<sup>33</sup> El detalle de la proyección de los ahorros del GN respecto a los otros combustibles se observa en el anexo 5.

Hacia el 2006, se asume que la sustitución del gas natural del sector comercial y público es relativamente estable. Esto significa que la sustitución está determinada por el sistema de distribución de gas natural, inversiones tecnológicas necesarias a ser realizada por los privados y también por aspectos culturales. Se asume que el uso de los otros combustibles se mantendrá en el porcentaje considerado del 2006, debido a la ausencia de información.

1. Sector Comercial.

Considerando los datos de los Balances Nacionales de Energía entre el 2000 y el 2006, y los precios del GLP en base a INE (2008), se realizó un análisis de cruzado entre el precio de GN y las cantidades demandadas de GNL, con lo que se obtuvo la siguiente curva para el Sector Comercial:

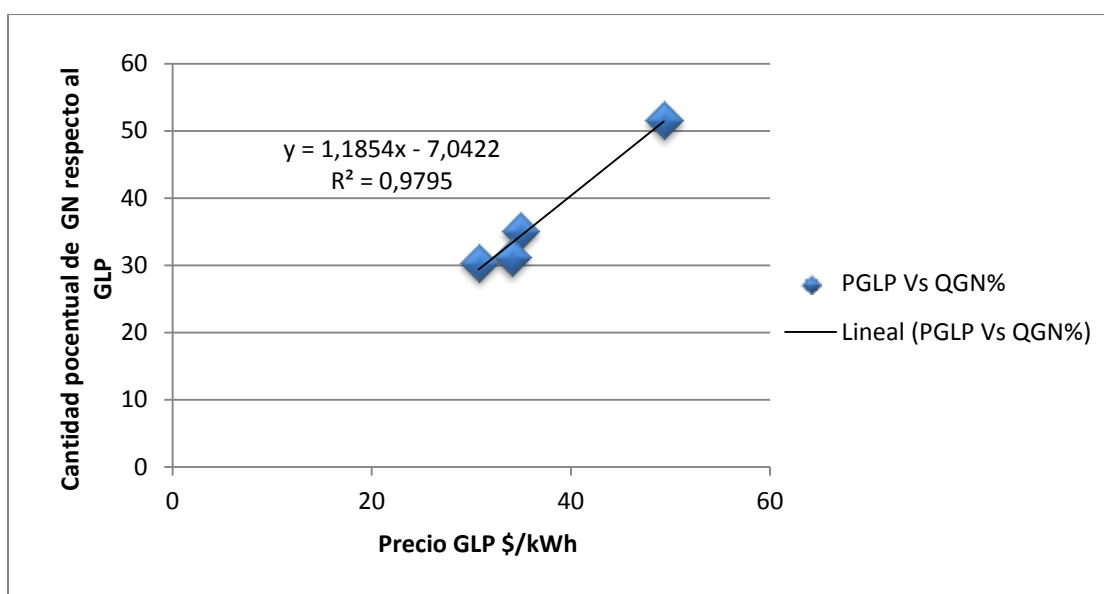


Ilustración 23: Análisis proporción GN/GNL versus precio GLP.

A partir de lo anterior se sugiere que ambos tipos de combustibles son sustitutos. Con ello se aplicó esta función para explicar el aumento del consumo de GN por sobre GLP en el sector Comercial. Ello se aplicó sólo al aumento del km<sup>2</sup> anual, bajo el argumento de las limitaciones de infraestructura y tecnológicas que supone la sustitución de GLP por GN. Con estos valores se utilizaron los costos proyectados del GLP de la Tabla 21.

2. Sector Público.

Para el sector público se consideraron los mismos supuestos y análisis. Sin embargo, las fluctuaciones de precios y demanda entre GN y GLP entre los años 2000 y 2006, no permiten realizar un análisis más profundo. Por tal motivo, se decide utilizar constante la distribución de los combustibles al año 2006.

## 4.4 Aplicación del modelo a cada sector

Entendiendo las características principales de los consumos al año 2006, así como tendencias relevantes, se procederá a identificar los aspectos y variables relevantes que explicarán las proyecciones de emisiones al 2050.

### 4.4.1 Sector Residencial

Se estima que el incremento en el ingreso familiar provocará un incremento en el uso de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, tenencia y uso de equipos electrodomésticos, etc., de forma similar a países desarrollados, lo que permitirá evaluar con mayor detalle estos efectos en las emisiones del sector.

Si bien, existe una gran cantidad de artefactos que consumen energía en los hogares, se procederá a separarlos de acuerdo a su uso final, de acuerdo a las categorías descritas en apartados anteriores.

1. Calefacción.
2. Electrodomésticos e iluminación.
3. Agua caliente sanitaria y cocción.

La primera categoría representa el mayor porcentaje de uso final de la energía, que de acuerdo al estudio (Ambiente Consultores-PRIEN, 2007), representa el 52% del total de energía consumida. En esta subcategoría, están presentes la mayoría de combustibles de uso masivo (electricidad, GLP, GN, leña, diesel, etc.), siendo la leña la responsable del 80% del consumo de energía final en calefacción de acuerdo al estudio (CDT, 2009). Esta subcategoría tendrá una participación protagónica en los próximos años, producto del mayor uso esperado de calefacción, en especial en zonas de combustibles de mayor precio o de mayores restricciones medioambientales (zona centro - sur).

La segunda categoría se refiere a artefactos que usan específicamente electricidad para funcionar. Se estima importante considerar una categoría aparte para estos artefactos por dos razones: existe un gran potencial de adquisición de artefactos consumidores de electricidad (computadores, microondas, hervidores eléctricos, etc.) para llegar a los niveles de países desarrollados y que son importantes de identificar. Una segunda razón es que una subcategoría de sólo consumo eléctrico es de gran utilidad para estimar la demanda eléctrica de este sector, la que también estará separada por zona térmica y sistema interconectado, de forma de servir de insumo fácil para el grupo de generación eléctrica. A pesar de esto, es importante aclarar que esta

subcategoría será separada en distintos grupos de artefactos, cuya desagregación será de acuerdo al mayor consumo energético.

De acuerdo al estudio CDT, respecto al consumo final de electricidad en el país, existen 6 ítems (refrigeradores y freezers, Iluminación, televisión, stand-by, computadores y aspiradoras) que constituyen casi el 80%. A pesar de esto, en el futuro se estima que a medida que aumentan los estándares de confort de las personas, habrá un aumento en la tenencia de equipos más consumidores de electricidad, tales como aire acondicionado, secadoras de ropa, lavavajillas, etc. que actualmente no justifican ser desagregadas.

Finalmente, la última subcategoría se refiere a ACS y cocción. De la misma forma que la primera, estos usos finales presentan distintos combustibles, y se espera un incremento, en especial del ACS, producto de la mayor tenencia de calefont en los hogares. Por otro lado, corresponde al segundo uso final que consume más energía.

Con esta información, se procederá a estimar el consumo energético y las emisiones globales por cada subcategoría o total del país, multiplicando por el número de viviendas que poseen este uso final de energía. Es importante mencionar que tanto las estimaciones unitarias de GEI como las globales, deberán ser analizadas y ajustadas adecuadamente con la información más confiable, de forma de obtener valores consistentes con encuestas y estudios anteriores.

De acuerdo a lo mencionado en los párrafos anteriores, es importante separar los usos finales de la energía en el sector residencial, ya que permitirá realizar proyecciones de consumo y hábitos de uso futuro comparables con países de mayores niveles de ingreso per cápita, que facilitará la tarea de proyectar las emisiones frente a los vacíos de información, y al mismo tiempo determinar los mayores potenciales de ahorro. Sin embargo, el desarrollo de una metodología de estimación de emisiones de GEI presenta dificultades en especial en los usos de energía que son abastecidos por más de un combustible, como por ejemplo los casos de calefacción, cocina y agua caliente sanitaria, ya que la información existente por parte de las distribuidoras de energía y encuestas, no separa los usos de los combustibles y por ende, se deben realizar supuestos acerca de esto. Adicionalmente, para proyectar las emisiones futuras, existe un factor adicional muy relevante ligado al cambio de combustible para el mismo uso final, asociado a la elasticidad de la demanda los combustibles, lo que en el caso de calefacción será muy relevante por la alta presencia de la leña, y las normativas que restringen las emisiones en zonas principalmente urbanas.

En el caso de usos de energía que usen electricidad, la metodología es más simple, ya que existe más información de tenencia de equipos, y de horas de uso, lo que permite estimar la demanda futura eléctrica del sector, y realizar proyecciones futuras en base al aumento de equipos en los hogares chilenos.

De esta forma, la metodología de determinación de consumos energéticos y emisiones de GEI unitarias, será dividida en los siguientes grupos:

#### 4.4.1.1 Calefacción

En este caso, la determinación de los GEI unitaria será estimada en base al combustible utilizado, de acuerdo a la siguiente expresión:

a) Leña.

$$CE_s = \frac{\text{kilos}}{\text{año}} \times PCI_{h,t}$$

$$EGEI_s = 0$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo de energía en calefacción con leña, en subcategoría s, en kcal/año/vivienda.

$EGEI_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero en subcategoría s, en kg/año/vivienda.

$\frac{\text{kilos}}{\text{año}}$  = Leña consumida anualmente para una vivienda de una determinada subcategoría, en kg/año.<sup>34</sup>

$PCI$  = Poder calorífico inferior de la leña, para variedad t y humedad h, en kcal/kg.

b) GLP.

Para determinar las emisiones unitarias de GEI debido a la calefacción con GLP, no existen datos específicos para fines del 2006 (lo único existente a esa fecha es la encuesta CASEN 2006 que pregunta acerca del uso de GLP en general en las viviendas). De esta forma, para estimar las emisiones unitarias de GLP, se procederá a ajustar la información de la curva de conservación de la energía del sector residencial del año 2009 que entrega valores de consumo unitario de GLP en calefacción. Estos serán ajustados de acuerdo a los balances de energía y crecimiento del parque de viviendas entre esos años (2006 y 2009). De esta forma las emisiones unitarias de GEI se calcularían de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CE_s = \frac{\text{kilos}}{\text{año}} \times PCI_{h,t}$$

<sup>34</sup> Fuente: Encuesta CASEN 2006.

$$EGEI_s = CE_s \times FEGEI$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo de energía en calefacción con GLP en subcategoría  $s$ , en kCal/año/vivienda.

$EGEI_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero en subcategoría  $s$ , en kg/año/vivienda.

$\frac{\text{kilos}}{\text{año}}$  = Consumo de kilos al año de GLP para calefacción en kg/año para una vivienda de una determinada subcategoría<sup>35</sup>.

$FEGEI$  = Factor de emisión de GEI para GLP en kg CO<sub>2</sub> eq/kCal.

$PC$  = Poder calorífico del GLP, en kCal/kg GLP.

c) GN.

Para determinar las emisiones unitarias de GEI debido a la calefacción con GN, no existen datos específicos para fines del 2006 (lo único existente a esa fecha es la encuesta CASEN 2006 que pregunta acerca del uso de gas de cañería en general en las viviendas. De esta forma, para estimar las emisiones unitarias de GN, se procederá a ajustar la información de la curva de conservación de la energía del sector residencial del año 2009 que si entrega valores de consumo unitario de GN en calefacción. Estos serán ajustados de acuerdo a los balances de energía y crecimiento del parque de viviendas entre esos años (2006 y 2009). De esta forma las emisiones unitarias de GEI se calcularían de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CE_s = \frac{m^3}{año} \times PCI_{h,t}$$

$$EGEI_s = CE_s \times FEGEI$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo de energía en calefacción con GN en subcategoría  $s$ , en kCal/año/vivienda.

$EGEI_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero en subcategoría  $s$ , en kg/año/vivienda.

---

<sup>35</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

$\frac{m^3}{año}$  = Consumo de GN para calefacción en m<sup>3</sup>/año, para una determinada subcategoría.<sup>36</sup>

*FEGEI* = Factor de emisión de gases de efecto invernadero para GN en kg CO<sub>2</sub> eq/kCal.

*PC* = Poder calorífico superior del GN, en kCal/m<sup>3</sup>.

d) Kerosene.

Para determinar las emisiones unitarias de GEI debido a la calefacción con kerosene, no existen datos específicos por vivienda para fines del 2006 (de hecho la encuesta CASEN 2006, no consulta acerca del uso de kerosene doméstico). De esta forma, para estimar las emisiones unitarias de kerosene, y particularmente la cantidad de viviendas que usan kerosene, se procederá a ajustar la información de la curva de conservación de la energía del sector residencial del año 2009 que si entrega valores de consumo unitario de kerosene en calefacción. Estos serán ajustados de acuerdo a las informaciones de venta de kerosene de uso doméstico, la cual a partir del año 2007 experimentó un aumento explosivo en su uso, debido a la llegada de calefactores a kerosene de nuevas tecnologías, en especial en la zona central. De esta manera, el ajuste deberá realizarse tomando en consideración estos factores. La fórmula resultante para obtener las emisiones debidas a calefacción con kerosene sería la siguiente:

Donde:

*CE<sub>s</sub>* = Consumo de energía en calefacción con kerosene en subcategoría s, en kCal/año/vivienda.

*EGEI<sub>s</sub>* = Emisiones de gases de efecto invernadero en kg/año/vivienda.

$\frac{kilos}{año}$  = Consumo anual de kerosene para calefacción en kg/año para una vivienda de una determinada subcategoría.<sup>37</sup>

*FEGEI* = Factor de emisión de gases de efecto invernadero para kerosene en kg CO<sub>2</sub> eq/kCal.

*PC* = Poder calorífico superior del kerosene, en kCal/kg.

e) Electricidad.

<sup>36</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

<sup>37</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

En este caso, sólo se determinan el consumo energético y no las emisiones de GEI, debido a que serán considerados en el grupo de generación. Para determinar este consumo de calefacción con electricidad, no existen datos específicos para fines del 2006 (lo único existente a esa fecha es la encuesta CASEN 2006 que pregunta acerca del consumo eléctrico en general en las viviendas. De esta forma, para estimar las emisiones unitarias debidas a calefacción por uso de electricidad, se procederá a ajustar la información de la curva de conservación de la energía del sector residencial del año 2009 que si entrega valores de consumo unitario de electricidad en calefacción. Estos serán ajustados de acuerdo a los balances de energía y crecimiento del parque de viviendas entre esos años (2006 y 2009). De esta forma el consumo energético unitario para cada subcategoría será obtenido en base al estudio CDT ajustado para el año 2006.

El consumo energético y la estimación de los GEI para el uso final de calefacción se estiman en base al total de viviendas que poseen este uso final, de acuerdo a diversas fuentes. De esta manera, los GEI se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CET_s = \sum CE_{i,s} \times NV_s$$

$$EGEIT_s = \sum EGEI_{i,s} \times NV_s$$

Donde:

$CET_s$  = Consumo energético total en kCal/año en subcategoría s.

$CE_{i,s}$  = Consumo energético unitario para el combustible i en kCal/año en subcategoría s.

$EGEIT_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero totales en t/año en subcategoría s.

$EGEI_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero unitarias para el combustible i en subcategoría s (excepto electricidad).

$NV_s$  = Número de viviendas de la subcategoría s, que poseen este uso final para el año 2006.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> La encuesta CASEN 2006 tiene bien caracterizado el uso de leña, sin embargo otros combustibles como el GLP y el GN, no se encuentran desagregados en esta encuesta, de forma que se deberá realizar supuestos en base al BNE 2006 y al estudio CDT.

#### 4.4.1.2 Equipos eléctricos

En este caso, no se estiman las emisiones de GEI debido a que estas son imputadas en el sector de generación eléctrica, sino se estima sólo el consumo energético. Para estimar los consumos unitarios del equipamiento eléctrico de las viviendas, se procederá a separar los usos finales que poseen los mayores consumos eléctricos, ya sea por estar presentes en más hogares, por presentar mayores horas de uso, o por tener una mayor potencia. De acuerdo a lo mostrado en el capítulo de caracterización del sector CPR, seis de los usos finales eléctricos suman casi el 80% del consumo eléctrico, de forma que se procederá a definir metodologías de cálculo especialmente para estos. Los restantes usos se separarán en dos categorías:

- Equipos eléctricos con potencial de crecimiento.  
En esta subcategoría, se agrupan artefactos de poca presencia o que no existen, pero de potencial crecimiento en los hogares. Dentro de estos se encuentran microondas, hervidores eléctricos, aire acondicionado, freezers, hornos eléctricos, secadoras de ropa y lavavajillas, entre otros.
- Otros.  
Esta categoría agrupa a artefactos que, a juicio del consultor (basado en datos internos de la CDT), mantendrán su consumo de una forma constante durante los siguientes años, y de esta forma serán considerados como un valor fijo, en términos de kWh/año, presentando una tendencia a la baja de su consumo como resultados de aplicaciones de eficiencia energética. Dentro de estos equipos, se considera a lavadoras, equipos de música, plancha, DVDs, consolas de juego, bombas de piscina, cargadores de celular, secadoras de pelo, afeitadoras, etc. Estos en su conjunto no superan el 10% de consumo de energía eléctrica.

a) Refrigeradores y freezers.

El consumo de energía para este uso final se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$CE_s = CE_{2006} \times TH$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo eléctrico unitario en subcategoría s, en kWh/año/vivienda.

$CE_{2006}$  = Consumo específico anual de electricidad para un equipo estándar del parque de refrigeradores de ese año. Fuente: SEC.

$TH$  = Tenencia de equipos por hogar que posee este uso final.<sup>39</sup>

b) Iluminación.

Las emisiones unitarias de GEI para iluminación presentan una complejidad adicional en relación a otros artefactos eléctricos, producto de que a la fecha (2006), ya existían tecnologías eficientes (ampolletas FLC), junto a las incandescentes, aunque en menores proporciones de las que existen actualmente. De esta manera, lo anterior debe ser considerado, ya que en los primeros años de proyección se irá migrando de la tecnología incandescente a la eficiente, y a medida que bajen los costos de las tecnologías de iluminación eficiente, se irán incorporando nuevas tecnologías a futuro, sin embargo, se estima que las reducciones más apreciables de energía fueron del paso de incandescente a FLC, lo que debe ser considerado en la proyección. De esta forma, el cálculo del consumo eléctrico debido a este uso, se estima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_s = (PotIE \times NIE + PotINE \times NINE) \times HU$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo eléctrico unitario en kWh/año/vivienda.

$PotIE$  = Potencia en kW para ampolleta eficiente en el año 2006. Fuente: SEC.

$PotINE$  = Potencia en kW para ampolletas no eficientes en el año 2006 (ampolletas incandescentes). Fuente: SEC.

$HU$  = Horas de uso promedio de iluminación.<sup>40</sup>

$NIE$  = Número de ampolletas eficientes por vivienda al año 2006.<sup>41</sup>

$NINE$  = Número de ampolletas no eficientes por vivienda al año 2006.<sup>42</sup>

c) Stand-by.

El consumo unitario de este uso final se calcula de acuerdo a estudios existentes de consumo eléctrico stand by<sup>43</sup> en Chile y se asume como un valor constante por vivienda (valor promedio).

<sup>39</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

<sup>40</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

<sup>41</sup> Fuente: Estimación propia en base a datos (CDT, 2009) y SEC.

<sup>42</sup> Fuente: Estimación propia en base a datos (CDT, 2009) y SEC.

<sup>43</sup> Estudio(R+C Power Solutions, 2007).

d) Televisores.

El consumo eléctrico unitario para este uso final se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_s = Pot_{2006} \times HU \times TH$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo eléctrico unitario en subcategoría s, en kWh/año/vivienda.

$Pot_{2006}$  = Potencia del equipo en kW al año de electricidad para equipo estándar del parque de televisores de ese año.<sup>44</sup>

$HU$  = Horas de uso promedio de televisor.<sup>45</sup>

$TH$  = Tenencia de equipos por hogar.<sup>46</sup>

e) Computadores.

El consumo eléctrico unitario para este uso final se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_s = Pot_{2006} \times HU \times TH$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo eléctrico unitario en kWh/año/vivienda en subcategoría s.

$Pot_{2006}$  = Potencia anual del equipo en kW, para equipo estándar del parque de computadores de ese año.<sup>47</sup>

$HU$  = Horas de uso promedio de computador.<sup>48</sup>

$TH$  = Tenencia de equipos por hogar.<sup>49</sup>

---

<sup>44</sup> Fuente: SEC.

<sup>45</sup> Estimación propia en base a datos (CDT, 2009).

<sup>46</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

<sup>47</sup> Fuente: SEC.

<sup>48</sup> Estimación propia en base a datos (CDT, 2009).

f) Aspiradora.

El consumo eléctrico unitario para este uso final se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_s = Pot_{2006} \times HU \times TH$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo eléctrico unitario en kWh/año/vivienda en subcategoría s.

$Pot_{2006}$  = Potencia anual del equipo en kW, para equipo estándar del parque de aspiradoras de ese año.<sup>50</sup>

$HU$  = Horas de uso promedio de aspiradora.<sup>51</sup>

$TH$  = Tenencia de equipos por hogar.<sup>52</sup>

g) Equipos eléctricos con potencial de crecimiento.

De acuerdo a lo definido anteriormente, esta categoría agrupa a artefactos con potencial de crecimiento futuro debido a la aún baja tenencia de estos o equipos que aún no existen. Estos artefactos corresponden a microondas, hervidores eléctricos, aire acondicionado, freezers, horno eléctrico, secadoras de ropa, lavavajillas y otros. El consumo eléctrico se calculará en forma genérica para la suma de los artefactos de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CE_{pc} = \sum CE_i$$

Donde:

$CE_{pc}$  = Consumo específico anual de electricidad de equipos con potencial de crecimiento para una subcategoría s.

---

<sup>49</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

<sup>50</sup> Fuente: SEC.

<sup>51</sup> Estimación propia en base a datos (CDT, 2009).

<sup>52</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

$CE_i$  = Consumo específico anual de electricidad del equipo i.

El valor aquí obtenido es por vivienda, y si bien probablemente en términos unitarios incluso disminuya por equipamiento más eficiente, se estima habrá una mayor tenencia de estos equipos a futuro, lo que incrementará sus consumos.

h) Otros.

En forma inversa al punto anterior, no se espera que aumente sustancialmente la tenencia de los artefactos incluidos en esta categoría, por lo que probablemente sus consumos energéticos disminuirán producto de mejoras tecnológicas. Dentro de estos equipos, se considera lavadoras, equipos de música, plancha, DVDs, consolas de juego, bombas de piscina, cargadores de celular, secadoras de pelo, afeitadoras, etc. De esta forma, los consumos eléctricos se calcularán de forma similar a la subcategoría anterior:

$$CE_o = \sum CE_i$$

Donde:

$CE_o$  = Consumo específico anual de electricidad de otros equipos para una subcategoría s.

$CE_i$  = Consumo específico anual de electricidad del equipo i.

La estimación del consumo eléctrico de artefactos eléctricos se estima en base al total de viviendas que poseen este artefacto, de acuerdo a diversas fuentes. De esta manera, el consumo eléctrico se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CET_s = \sum CE_{j,s} \times NV_{j,s}$$

Donde:

$CET_s$  = Consumo eléctrico total en kWh/año en subcategoría s.

$EGEIT_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero totales en ton CO<sub>2</sub> e/año en subcategoría s.

$CE_s$  = Consumo eléctrico para el artefacto j en subcategoría s.

$NV_{s,j}$  = Número de viviendas de la subcategoría s que poseen este uso final.<sup>53</sup>

#### 4.4.1.3 Agua Caliente Sanitaria y Cocina

El uso final de Agua Caliente Sanitaria (ACS), constituye el segundo mayor consumo energético residencial después de la calefacción. Para efectos de estimar sus emisiones de GEI debe separarse por combustibles, siendo los principales el GLP, GN y finalmente la electricidad.

El uso de ACS corresponde principalmente a las duchas, pero también incluye el uso de agua caliente para lavado de platos, lavado de manos, lavado de ropa, etc. los que sin embargo representan un menor porcentaje respecto a las duchas. El consumo de ACS está relacionado al número de habitantes por vivienda, y no presenta mayores variaciones respecto a si la vivienda es uni o multifamiliar, ni respecto a la zona térmica (no así el consumo energético, el cual es mayor en las zonas australes producto de la menor temperatura de agua de red). Sin embargo, para efectos de simplificar el modelo, se procederá a asumir un consumo de energía constante por vivienda, asumiendo un promedio de habitantes por vivienda para todo el país. De esta forma, las emisiones productos del uso de ACS se estiman de la siguiente manera:

a) GLP.

$$CE_s = \frac{\text{kilos}}{\text{año}} \times PCI_{h,t}$$

$$EGEIT_s = CE_s \times FEGEI$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo de energía en ACS con GLP en kCal/año/vivienda, en subcategoría s.

$EGEIT_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero en kg/año/vivienda, en subcategoría s.

$\frac{\text{kilos}}{\text{año}}$  = Consumo de GLP para ACS en kg/año para una vivienda.<sup>54</sup>

$FEGEI$  = Factor de emisión de GEI para GLP en kg CO<sub>2</sub> eq/kCal.

<sup>53</sup> La encuesta CASEN 2006 tiene bien caracterizado el uso de leña, sin embargo otros combustibles como el GLP y el GN, no se encuentran desagregados en esta encuesta, de forma que se deberá realizar supuestos en base al Balance Nacional de Energía 2006 y al estudio CDT.

<sup>54</sup> Fuente: Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

$PC$  = Poder calorífico del GLP, en kCal/kg.

b) GN.

$$CE_s = \frac{m^3}{año} \times PCI_{h,t}$$

$$EGEI_s = \frac{m^3}{año} \times PC \times FEGEI$$

Donde:

$CE_s$  = Consumo de energía en ACS con GN en kCal/año/vivienda en subcategoría s.

$EGEI_s$  = Emisiones de GEI en kg/año/vivienda en subcategoría s.

$\frac{m^3}{año}$  = Consumo de m<sup>3</sup> al año de GN para ACS en kg/año para una vivienda.<sup>55</sup>

$FEGEI$  = Factor de emisión de GEI para GN en kg CO<sub>2</sub> eq/kCal.

$PC$  = Poder calorífico del GN en kCal/kg.

c) Electricidad.

En este caso, sólo se determinan el consumo energético y no las emisiones de GEI, debido a que serán considerados en el grupo de generación eléctrica. El uso de electricidad para ACS es menor, y se da principalmente en soluciones de edificios, del tipo full-electric. Para determinar este consumo de ACS con electricidad, no existen datos específicos para fines del 2006 (lo único existente a esa fecha es la encuesta CASEN 2006 que pregunta acerca del consumo eléctrico en general en las viviendas. De esta forma, para estimar los consumos unitarios debidos uso de ACS con electricidad, se procederá a ajustar la información de la curva de conservación de la energía del sector residencial del año 2009 que entrega valores de consumo unitario de electricidad en agua caliente sanitaria. Estos serán ajustados de acuerdo a los balances de energía y crecimiento del parque de viviendas entre esos años (2006 y 2009). De esta forma el consumo energético unitario para cada subcategoría será obtenido en base al estudio CDT ajustado para el año 2006.

Por otra parte el uso final de cocina, de acuerdo a su caracterización, es responsable del 7.6% del consumo de energía final del país. De la misma forma que la calefacción o el ACS, puede ser llevada a cabo con distintos combustibles, pero a diferencia de los otros usos, está presente en casi el 100% de los hogares en Chile. De esta forma, su metodología será similar a la calefacción y

<sup>55</sup> Datos ajustados a 2006 del estudio (CDT, 2009).

ACS, pero considerando que llega al total de los hogares, y su crecimiento estará dado por el crecimiento del parque de viviendas.

El consumo energético y la estimación de los GEI para el uso final de ACS y cocina se estiman en base al total de viviendas que usan agua caliente, de acuerdo a diversas fuentes. De esta manera, se estiman de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CET_s = \sum CE_{i,s} \times NV_s$$

$$EGEIT_s = \sum EGEI_{i,s} \times NV_{s,j}$$

Donde:

$CET_s$  = Consumo energético total en kCal/año en subcategoría s.

$CE_{i,s}$  = Consumo energético unitario para el combustible i en kCal/año en subcategoría s.

$EGEIT_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero totales en ton CO<sub>2</sub> eq/año en subcategoría s.

$EGEI_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero unitaria para el combustible i en subcategoría s (excepto electricidad).

$NV_s$  = Número de viviendas de la subcategoría s que poseen este uso final.<sup>56</sup>

#### 4.4.1.4 *Estimación total del consumo energético y emisiones de GEI en sector Residencial.*

Finalmente, el consumo energético y las emisiones de GEI totales se calcularán como la suma de los aportes individuales de cada uno de estos usos finales, de la siguiente forma:

$$CETT_s = \sum CET_{i,s}$$

$$EGEITT_s = \sum EGEIT_{i,s}$$

Donde:

---

<sup>56</sup> Fuente: CASEN 2006.

$CETT_s$  = Consumo energético todos los usos en subcategoría s.

$CET_{i,s}$  = Consumo energético total uso i, en subcategoría s.

$EGEITT_s$  = Emisiones de gases de efecto invernadero todos los usos en subcategoría s.

$EGEIT_s$  = Emisiones de GEI total uso i, subcategoría s.

La estructura arborescente de este sector será la siguiente:

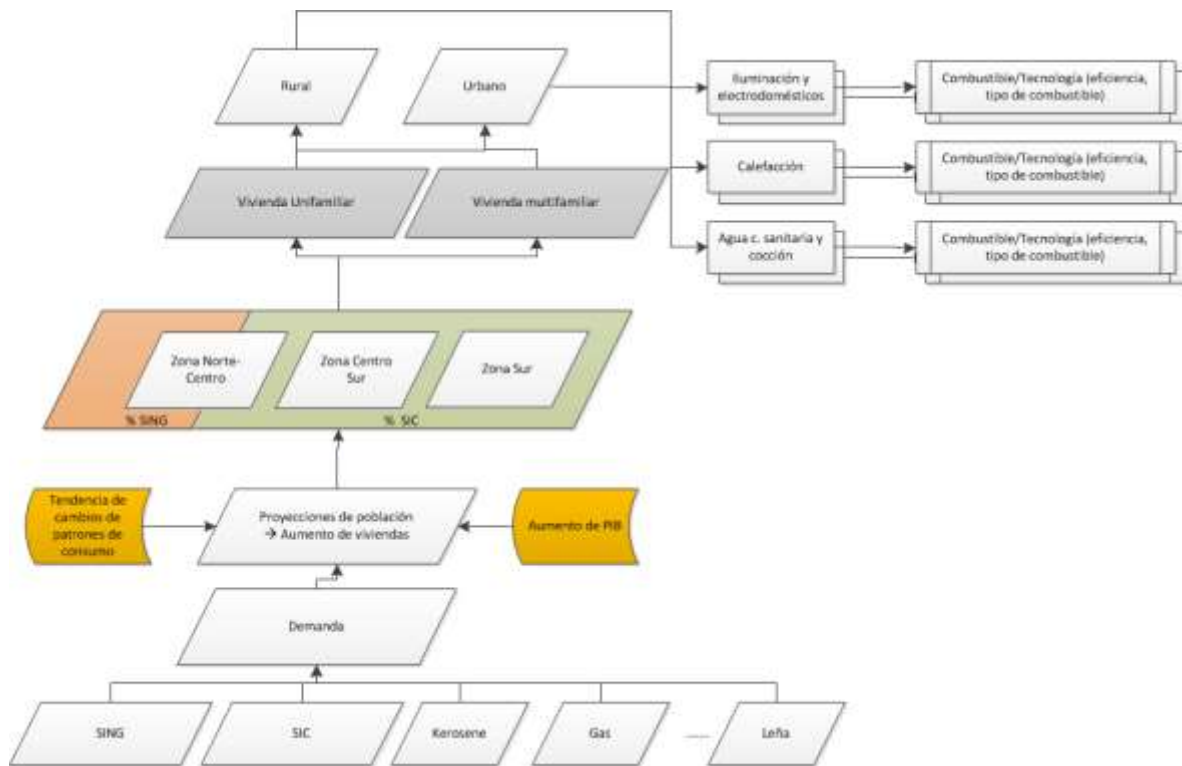


Ilustración 24: Estructura arborescente de análisis sector residencial.

#### 4.4.2 Sector Comercial y Público

A diferencia del sector residencial, el sector público y comercial está pobremente caracterizado. Se saben las estimaciones totales de consumos energéticos, y se han caracterizado subsectores como establecimientos educacionales, asistenciales, y algunas actividades del retail. Sin embargo, existen estadísticas de edificación anual en sector comercial, servicios financieros, y servicios. Tampoco se ha llevado una estimación de la cantidad de establecimientos comerciales, por lo que es difícil obtener “unidades funcionales”. En este sentido pareciera ser que lo más indicado es utilizar tasas de crecimiento en áreas edificadas como forma de proyectar consumos energéticos futuros. No se ha identificado ningún estudio similar que haya proyectado los consumos en una modalidad *bottom-up*. Lo más fácil sería simplemente proyectar los consumos energéticos en la forma del PIB, o PIB sectorial, pero por la naturaleza del estudio es necesario un enfoque *bottom-up*.

Mientras aumentan los metros cuadrados construidos, el consumo de energía crece. Por ejemplo, en el período 1998 a 2006 la construcción anual en el sector comercial y público creció en 9%, tiempo en el cual también creció la energía consumida en igual tasa.

La Ilustración 25 muestra que la correlación entre los m<sup>2</sup> construidos y energía consumida en el sector comercial, es altamente lineal. Por otro lado se ve que la construcción de los sectores público y comercial es proporcional al crecimiento del PIB comercial y público, respectivamente (Ilustración 26 e Ilustración 27). Finalmente, vemos en la Ilustración 28 y en la Ilustración 29 que el PIB comercial (tomando datos del Banco Central<sup>57</sup>) es altamente proporcional al PIB nacional, así también el PIB de administración pública<sup>58</sup> con el PIB nacional. Para este análisis, se realizaron variadas regresiones para las relaciones, donde se estableció que una regresión Log-Log del PIB nacional vs el PIB sectorial (comercial o público) fue la más apropiada para representar la relación entre ambos.

Entonces, con lo anterior, se pueden proyectar los metros cuadrados de construcción del sector público y comercial en función del PIB sectorial respectivo, y que estos también son proporcionales al PIB nacional, es decir, podemos proyectar la construcción en función del PIB. Como referencia, en el período 1998 a 2006, el PIB nacional creció en 3.8%, y el PIB comercial en 4.19%. Por otra parte, el PIB público creció en un 1.99%. Cabe resaltar que estos valores no se utilizan en las expresiones finales, sino que se utilizan para dar cuenta de que en efecto no hay un crecimiento del comercio sobre el PIB, y del sector público bajo el PIB.

<sup>57</sup> Fuente: Mensualización del PIB sectorial trimestral 1996-2008. Disponible en: <http://www.bcentral.cl/estudios/estudios-economicos-estadisticos/078.htm>

<sup>58</sup> Para la construcción del PIB Comercial, se escogieron los siguientes ítems de las cuentas públicas: Comercio, Restaurantes, Comunicaciones, Servicios Financieros, Propiedad de Vivienda y Servicios Personales. Para el PIB Público se utilizó: Administración Pública.

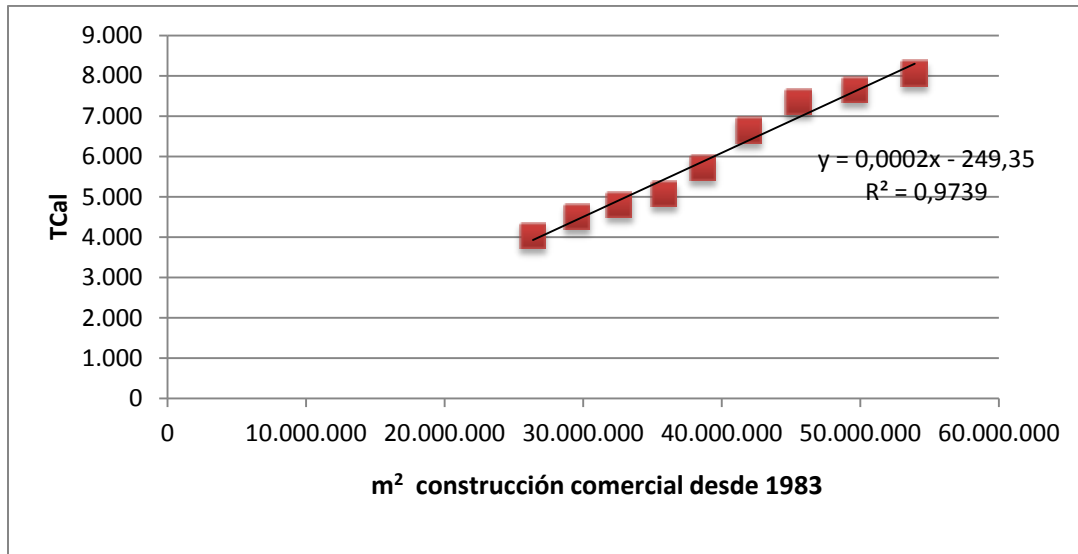


Ilustración 25: Relación entre consumo energético y edificación comercial, período 1998 a 2006, datos INE y CNE.

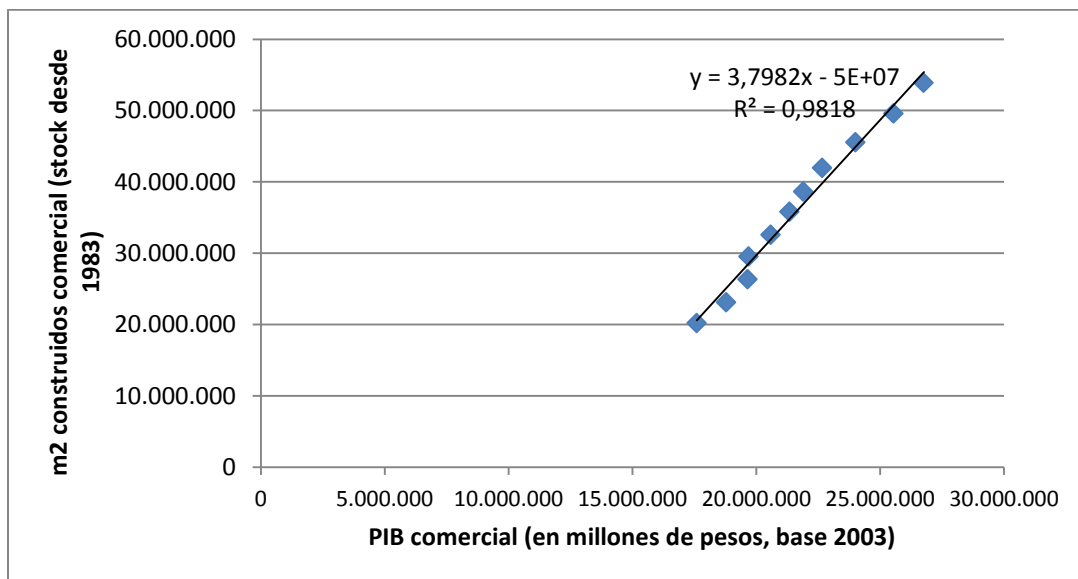


Ilustración 26: Relación entre PIB comercial (Banco Central) y permisos de edificación sector comercial (INE) período 1996-2006.

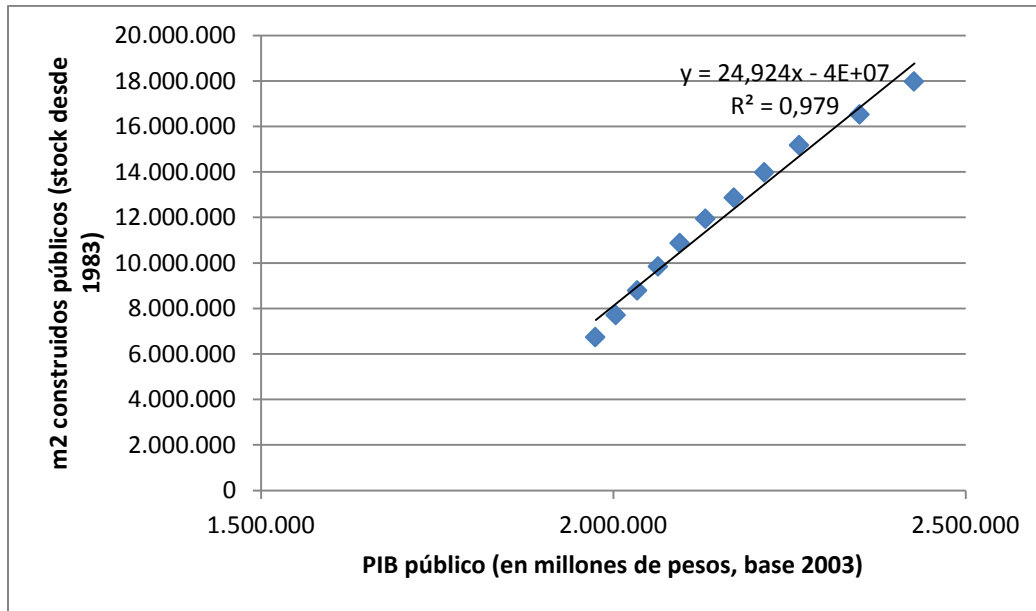


Ilustración 27: Relación entre PIB público (Banco Central) y permisos de edificación sector público (INE) período 1996-2006.

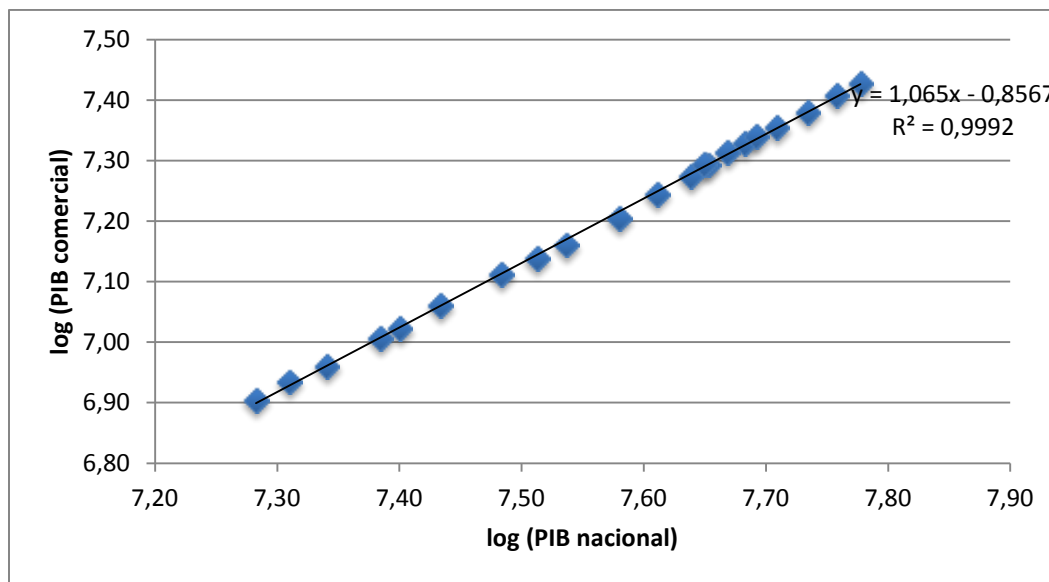


Ilustración 28: Correlación entre PIB nacional y PIB comercial, período 1996-2006 basado en datos Banco Central, valores en millones de pesos, base 2003.

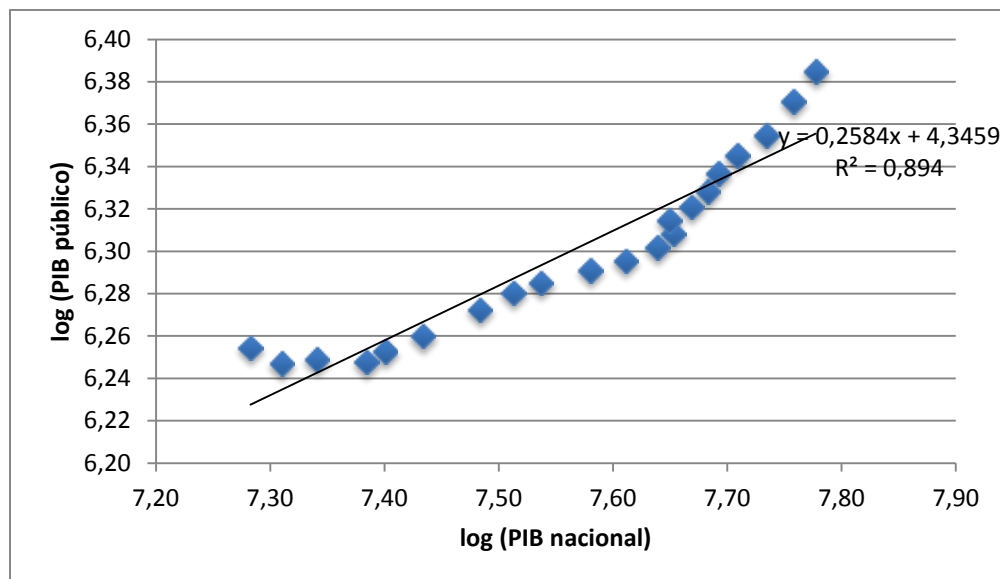


Ilustración 29: Correlación entre PIB nacional y PIB público, período 1996-2006 basado en datos Banco Central, valores en millones de pesos, base 2003.

Las siguientes tablas, muestran un análisis estadístico de las correlaciones acá indicadas. En ellas se observa que los test estadísticos de las correlaciones arrojan que la relación, con una alta probabilidad, sea del tipo log-log. Por otro lado, por simpleza pareciera ser una relación bastante razonable que los  $m^2$  construidos estén correlacionados con el PIB sectorial, ya que este también está correlacionado con el PIB nacional. Se asume por tanto que las correlaciones son robustas al representar las relaciones.

Tabla 22: Estadísticos para relación entre PIB público y PIB nacional, 1996-2006.

Dependent Variable: LOG(PIB_P)				
Method: LeastSquares				
Sample: 1986 2006				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	10.12434	0.345732	29.28373	0
LOG(PIB)	0.251779	0.019858	12.67875	0
R-squared	0.894298	Mean dependentvar		14.50688
Adjusted R-squared	0.888735	S.D. dependentvar		0.097209
S.E. of regression	0.032425	Akaikeinfocriterion		-3.929361
Sum squaredresid	0.019977	Schwarzcriterion		-3.829882
Log likelihood	43.25829	Hannan-Quinnriter.		-3.907771
F-statistic	160.7508	Durbin-Watson stat		0.206512
Prob(F-statistic)	0			

Tabla 23: Estadísticos para relación entre PIB comercial y PIB nacional, 1996-2006.

Dependent Variable: LOG(PIB_C)				
Method: LeastSquares				
Sample (adjusted): 1987 2006				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.168657	0.153747	-7.601187	0
LOG(PIB)	0.866337	0.061122	14.17387	0
LOG(PIB_C(-1))	0.161302	0.056566	2.851564	0.011
R-squared	0.999602	Mean dependentvar		16.60896
Adjusted R-squared	0.999555	S.D. dependentvar		0.35482
S.E. of regression	0.007485	Akaikeinfocriterion		-6.8144
Sum squaredresid	0.000952	Schwarzscriterion		-6.66504
Log likelihood	71.144	Hannan-Quinncrier.		-6.785244
F-statistic	21340.47	Durbin-Watson stat		1.292329
Prob(F-statistic)	0			

Tabla 24: Estadísticos para relación entre PIB comerciales y m2 construidos comerciales, 1996-2006.

Estadístico	X=PIB Comercial	Y=m2 comercial	
pendiente	3.7982	-46252109.6	int
e.e. pendiente	0.1726	3771904.036	e.e. int
R2	0.9818	1559639	sey
F	484.4029	9	df
Ssreg	1.18E+15	2.19E+13	Ssresid
p t-test	3.90E-09	3.462-4.135	IC95%

Tabla 25: Estadísticos para relación entre PIB público y m2 construidos públicos, 1996-2006.

Estadístico	X=PIB Público	Y=m2 público	
pendiente	24.9240	-41731712.95	int
e.e. pendiente	1.2174	2631891.629	e.e. int
R2	0.9790	558115	sey
F	419.1144	9	df
Ssreg	1.31E+14	2.80E+12	Ssresid
p t-test	7.39E-09	22.55-27.298	IC95%

Dados estos resultados, se decide proyectar el consumo energético como el producto entre el área construida de un sector, por el consumo específico del sector. Para el sector Comercial se tiene:

$$E_{cj} = C_{ecj}A_c$$

$$PIB_{nacional} = PIB_{nacional}(2006) * \prod_{i=2006}^t (1 + r_{nacional}(i))$$

$$\log(PIB_{comercial}) = a * PIB_{nacional} + b$$

$$A_c = 3.7982 * PIB_{comercial} - 41731712$$

Donde:

$A_c$ = Área construida comercial al año t, B: pendiente de correlación entre área construida y PIB comercial.

$C_{eic}$ : Consumo específico combustible j para sector comercial.

$E_{cj}$ =energía consumida para sector comercial por el combustible j.

$r_{nacional}(t)$ =tasa de crecimiento del PIB nacional del año t.

De igual manera se tiene para el sector Público:

$$E_{pj} = C_{epj}A_p$$

$$PIB_{nacional} = PIB_{nacional}(2006) * \prod_{i=2006}^t (1 + r_{nacional}(i))$$

$$\log(PIB_{publico}) = c * PIB_{nacional} + d$$

$$A_p = 24.92 * PIB_{publico} - 46252109$$

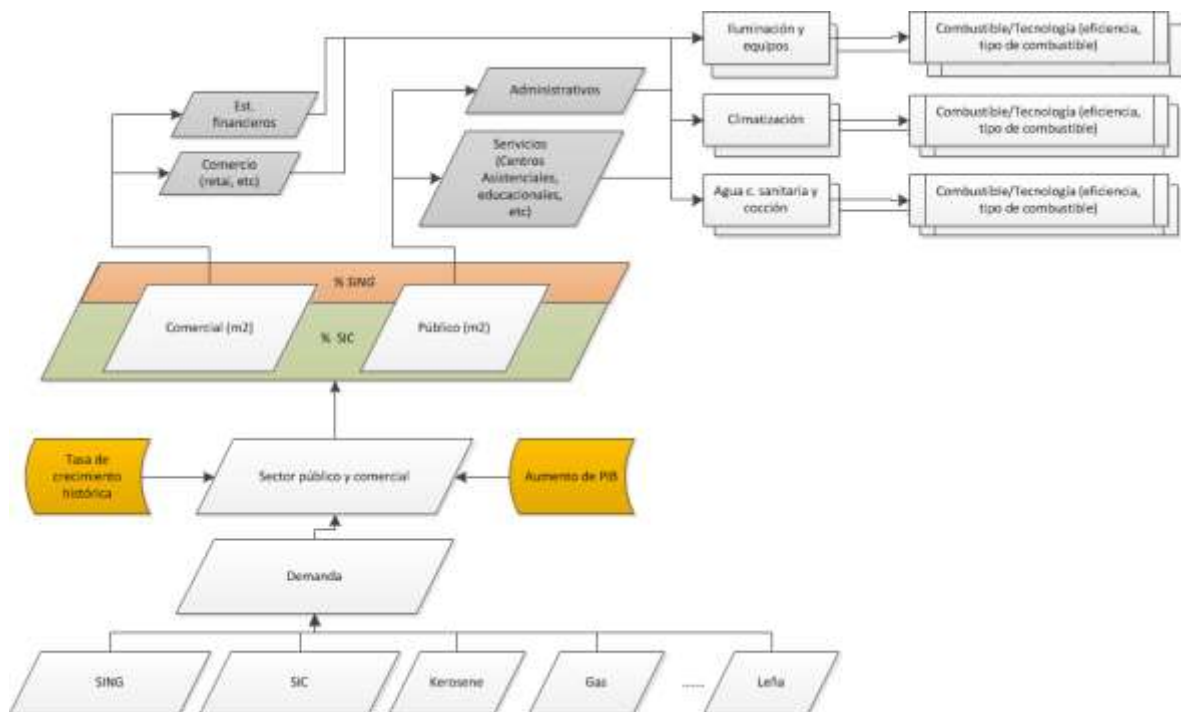
Donde a,b,c y d, son coeficientes de correlación e interceptos de las relaciones log-log entre los PIB sectoriales y el PIB nacional.

El consumo específico se proyecta usando datos históricos, además se construyó una función de consumo específico con una convergencia a un consumo específico de combustible de 0 al año 2050.

Se convertirán los consumos energéticos a emisiones de GEI, usando factores de emisión (Gg CO<sub>2</sub> eq/Tcal) del IPCC para los siguientes combustibles: diesel, petróleo, gas licuado, gas natural, y carbón.

Para estimación de la demanda eléctrica del sector comercial, la electricidad se tratará como un combustible más, es decir, se proyectará de la misma forma que el consumo de los otros combustibles. Se utilizarán los estudios de PRIEN y GAMMA para caracterizar consumos del sector retail, centros asistenciales y centros educacionales para chequear las estimaciones, con algunas basadas en usos finales, y utilizando un enfoque *bottom-up*. Además se verificará la desviación de los consumos específicos estimados de esta forma con los que provienen de estos estudios.

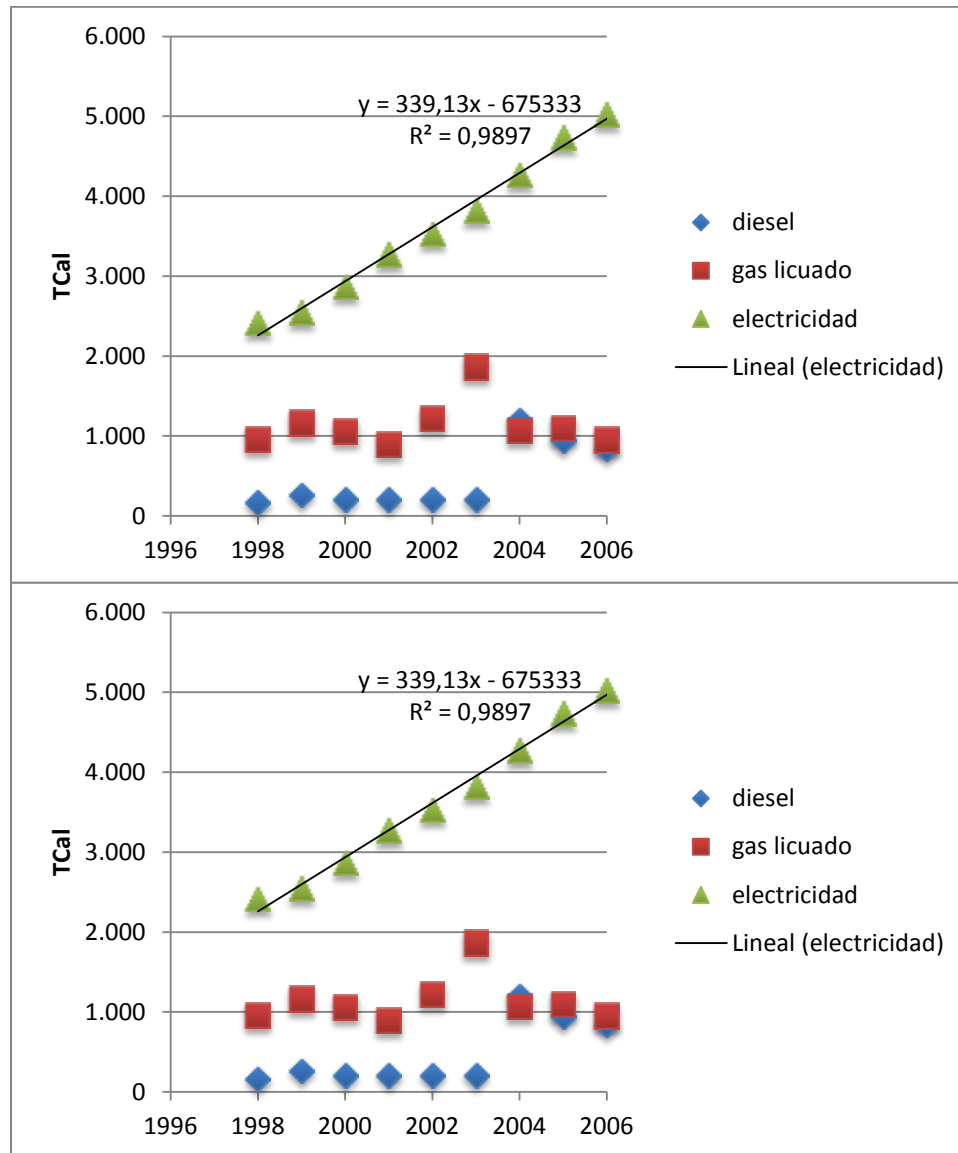
La estructura arborescente del análisis de este sector comercial y público, será la siguiente:



**Ilustración 30: Estructura arborescente sector Comercial y Público.**

La Ilustración 31 muestra que el sector comercial ha tenido un aumento sostenido de consumo energético eléctrico tanto así para el sector público. Ambos han crecido su consumo eléctrico en el período 1998-2006 en 8.5% (comercial) y 4.8% (público), respectivamente. En cambio, se podría

decir que el consumo no eléctrico del sector residencial ha crecido en un 7.2% anual, y por otro lado el sector público ha disminuido su consumo de combustibles a una tasa de 1.2% anual.



**Ilustración 31: Línea tendencial de consumo de energéticos (Balance Nacional de Energía 1998-2006) para (Arriba) sector comercial (abajo) sector público.**

Se espera que en escenarios de cambio climático cambie el perfil de consumo energético del sector Comercial y Público. Un estudio en Suiza (Frank, 2005) estima que existirá una menor demanda de calefacción en invierno, y un aumento de demanda de enfriamiento en verano. Esto significará un menor consumo energético de combustibles, y un aumento de consumo energético eléctrico, una tendencia que ya se ha visto en años recientes para el sector comercial en

particular. Es más, el aumento de uso de aire acondicionado se considera como una medida de adaptación en algunos lugares (Wan & Li, 2012), por lo que se verá un aumento futuro en el uso de climatización para estos fines.

La Tabla 26 muestra los consumos específicos (kwh/m<sup>2</sup>) de distintos tipos de edificaciones. Se puede ver que el consumo energético de malls en Chile se acerca al consumo energético de edificaciones con aire acondicionado en Hong Kong, y que el consumo energético de malls en Hong Kong se asemeja al consumo energético de malls en Chile durante verano. Los supermercados tienen un consumo energético superior a todos estos tipos de edificios, por la inmensa cantidad de refrigeración requerida.

**Tabla 26: Consumo específico de energía eléctrica (recopilación de estudios) en función de tipo de edificio.**

Tipo de edificación	País	kWh/m <sup>2</sup> /año	Estudio
4 malls	Hong Kong	430	(Lam & Li, 2003)
10 edificios con aire acondicionado	Hong Kong	293	(Lam & Wan, 2008)
20 malls.	Chile	324	(GAMMA, 2009)
93 supermercados	Chile	552	(GAMMA, 2009)
Oficina	Internacional	200	(IFC, 2010)
Hospital	Internacional	400	(IFC, 2010)
Clínica	Internacional	275	(IFC, 2010)
Colegio	Internacional	125	(IFC, 2010)
Universidad	Internacional	150	(IFC, 2010)
Mall	Internacional	300	(IFC, 2010)
Retail construcción	Internacional	175	(IFC, 2010)
Supermercado general	Internacional	250	(IFC, 2010)
Supermercado orientado a alimentos	Internacional	500	(IFC, 2010)
Hotel Premium	Internacional	250	(IFC, 2010)
Hotel Budget	Internacional	150	(IFC, 2010)
Oficinas comerciales	Montreal	300	
Oficinas comerciales	Montreal	212	(Zmeureanu et al 1992)
Oficinas comerciales	Montreal	502	(Zmeareanu et al., 1988; 1991)

La

Tabla 27 y la Tabla 28 muestran que el consumo energético ha tendido a la baja gradual, y que el consumo específico de combustibles está bajando progresivamente. Pareciera ser, por otro lado, que el consumo eléctrico específico se ha estabilizado.

**Tabla 27: Consumo energético específico derivado de Balance Nacional de Energía y Catastro de Permisos de Edificación: Sector Comercial (en kWh/m<sup>2</sup>/año).**

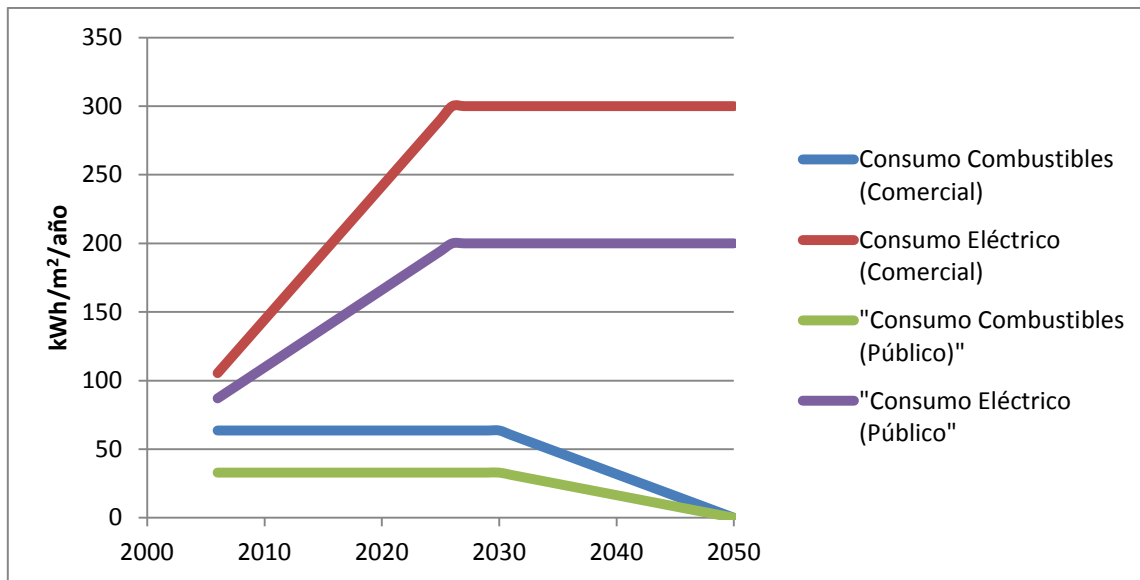
Año	Consumo energético total kWh/m <sup>2</sup> /año	Consumo específico en combustibles kWh/m <sup>2</sup> /año	Consumo energético eléctrico kWh/m <sup>2</sup> /año
1998	173	70	104
1999	172	75	98
2000	167	67	100
2001	160	57	103
2002	167	64	103
2003	179	76	103
2004	183	77	106
2005	174	66	108
2006	169	64	105

**Tabla 28: Consumo energético específico derivado de Balance Energético Nacional y Catastro de Permisos de Edificación: Sector Público (en kWh/m<sup>2</sup>/año).**

Año	Consumo energético total kWh/m <sup>2</sup> /año	Consumo específico en combustibles kWh/m <sup>2</sup> /año	Consumo energético eléctrico kWh/m <sup>2</sup> /año
1998	191	74	117
1999	164	52	112
2000	166	61	105
2001	145	45	100
2002	128	38	90
2003	140	44	95
2004	164	55	109
2005	124	32	92
2006	120	33	87

En este estudio no se ha podido desagregar entre sector público y comercial ya que la información disponible sólo muestra construcción total. Se proyecta un consumo específico de combustibles constante para el período 2006-2030, y una disminución lineal desde los consumos actuales, a cero, para el año 2050, para las construcciones nuevas. El consumo energético eléctrico se proyecta de 300 kWh/m<sup>2</sup>, en forma lineal desde el valor del año 2006, y bajo el supuesto de que se mantendrá en el futuro (asumiendo que aumentos de consumo, fruto de mayor demanda energética, se compensa con mejoras en eficiencia de sistemas), para construcción nueva del sector comercial, y 200 kWh/m<sup>2</sup> por año para el sector público. Se piensa que esta será la tendencia, ya que la nueva construcción buscará un confort térmico, mientras que por los números de consumos energéticos, actualmente la mayoría del sector comercial y público no lo

logra, tal como se aprecia en las tablas anteriores. La Ilustración 32 muestra la evolución de los consumos de las construcciones nuevas, y sus líneas tendenciales hacia el año 2050.



**Ilustración 32: Proyección de consumo energético específico de nuevas construcciones para sector comercial y público.**

La Ilustración 33 muestra la proyección de construcción bajo distintos escenarios. Se observa que al año 2050 habría aumentado el área construida entre 7 a 13 veces para el sector comercial, y 2 a 2.5 veces para el sector público.

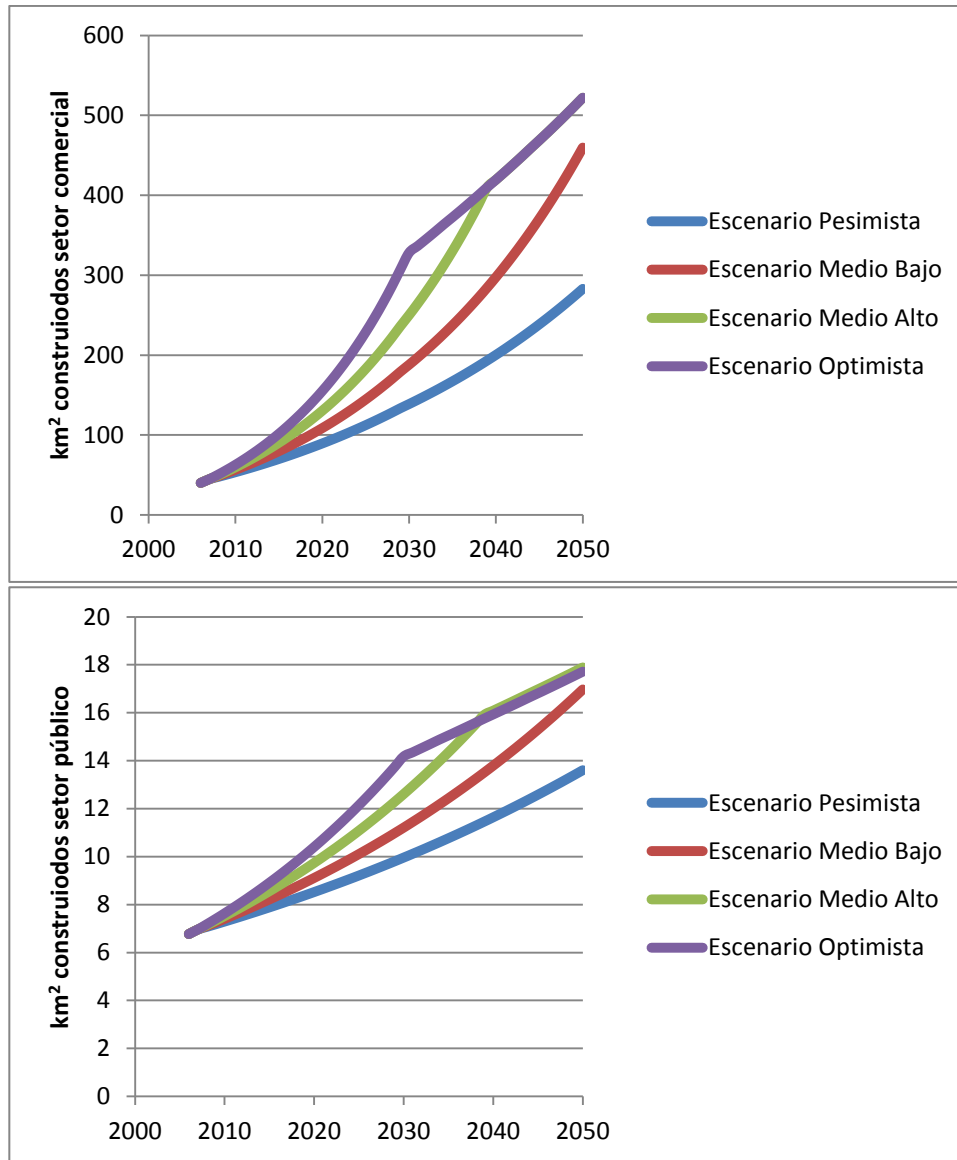


Ilustración 33: Proyección de m<sup>2</sup> construidos anuales proyectados bajo función escalonada basada en PIB. Inferior: sector público. Superior: sector comercial. Elaboración propia.

#### 4.5 Poderes Caloríficos y Factores de Emisión

Para efectos de este estudio, se consideró el consumo de unidades físicas, densidades de combustibles y los poderes caloríficos, de acuerdo al Balance Nacional de Energía 2006, los que se presentan a continuación.

Tabla 29: Densidad y poder calorífico utilizados en BNE. Fuente: (CNE, 2007).

Combustible	Densidad (Ton/m <sup>3</sup> )	Poder calorífico
Petróleos combustibles	0.927	10,500 kCal/kg
Gas Licuado	0.55	12,100 kCal/kg
Gasolina Automóviles	0.73	11,200 kCal/kg
Gasolina Aviación	0.70	11,400 kCal/kg
Kerosene Aviación	0.81	11,100 kCal/kg
Kerosene	0.81	11,100 kCal/kg
Diesel	0.84	10,900 kCal/kg
Gas Natural Procesado	0.759	9,341kCal/m <sup>3</sup>
Leña	-	3,500kCal/kg
Carbón	-	7,000kCal/kg
Gas de refinería	0.350	4,260kCal/m <sup>3</sup>

Además, se tiene que las *Guidelines* del IPCC recomiendan utilizar el poder calorífico inferior para el cálculo de las emisiones asociadas al consumo de combustibles. Debido a esto, es que los factores de emisiones por defecto a utilizar, requieren un factor de corrección. Con el fin de ajustar las emisiones con las calculadas en el inventario al 2006, se utilizará las cifras presentes en la “2ª Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.

Tabla 30: Ajustes plausibles para los factores de emisión por defecto.

Combustible	BNE PCS	IPCC PCI	Ajuste IPCC	Ajuste POCH
Carbón	14.651	7.900	0.54	0.9500
Gas Corriente	50.950	47.500	0.93	0.9500
Gas Licuado	50.6506	44.8	0.88	0.9000
Gas Natural	51.517	46.500	0.90	0.9000
Kerosene	46.4646	42.4	0.91	0.9500
Leña	14.651	7.900	0.54	0.9500
Petróleo Combustible	45.6274	41.4	0.91	0.9500
Diesel	45.6274	41.4	0.91	0.9500
Electricidad				

Asimismo, se calcularon los factores de emisión equivalentes (incluyendo el potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) para un tiempo de latencia de 200 años. Los factores de emisión considerados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 31: Factores de emisión equivalentes.<sup>59</sup>

Combustible	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> e
Carbón	94,600	1.000	1.500	95,072
Gas Corriente	57,600	1.000	0.100	57,655
Gas Licuado	63,100	1.000	0.100	63,155
Gas Natural	56,100	1.000	0.100	56,155
Kerosene	71,900	3.000	0.600	72,154
Leña				
Petróleo Combustible	73,300	3.000	0.600	73,554
Diesel	74,100	3.000	0.600	74,354
Electricidad				

## 4.6 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología anteriormente descrita. Primero, se mostrarán los resultados de consumo energético, luego se presentarán los resultados de emisiones y por último se indican otras proyecciones obtenidas como resultados complementarios. Cabe resaltar que los resultados mostrados en esta sección, fueron obtenidos para el escenario de PIB medio-bajo.

### 4.6.1 Consumos energéticos

El consumo energético total, que comprende el consumo de electricidad más el asociado a combustibles, se presenta en la siguiente figura. Se observa que si bien, al año 2006 el sector que predominaba los consumos era el sector residencial, al año 2050 pasa a predominar este el sector comercial, debido al gran aumento que presenta en el consumo eléctrico. En cuanto al sector público, este continúa teniendo una participación menor en el consumo total del sector CPR.

<sup>59</sup> Elaboración propia en base a Guidelines IPCC, 2006.

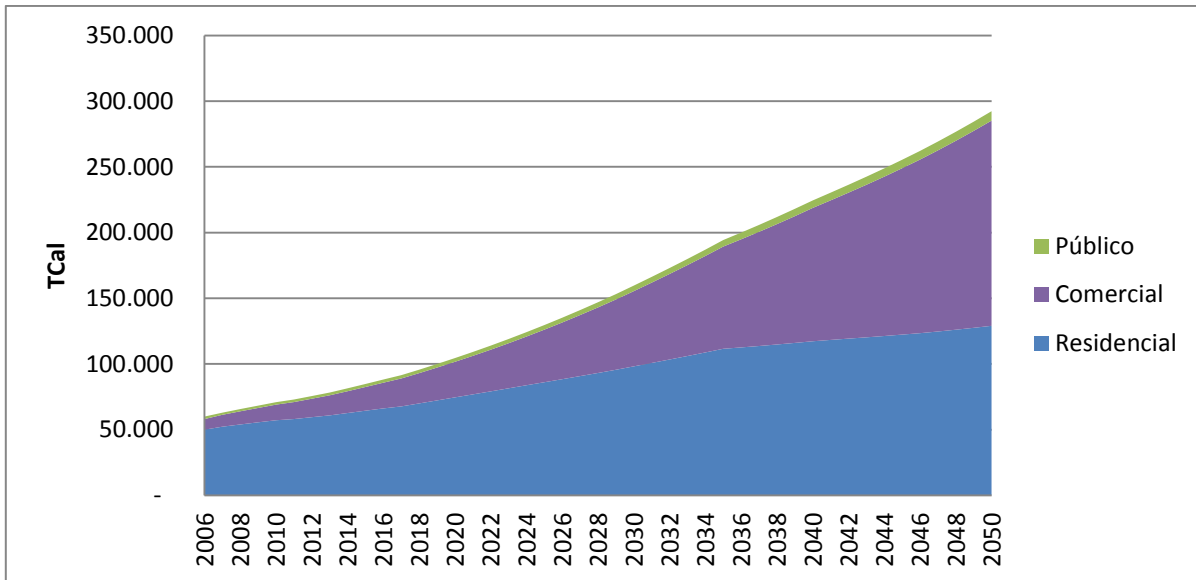


Ilustración 34: Proyección del consumo energético total CPR.

A continuación se presenta el detalle del consumo energético para cada uno de los sectores analizados.

#### 4.6.1.1 Sector Residencial

En este sector, se estima que el número de viviendas aumentará desde los 4 millones aproximadamente al 2006, hasta los 8 millones de viviendas al 2050. Esto conllevará un aumento en el consumo energético, principalmente por el aumento del uso de calefacción en los hogares:

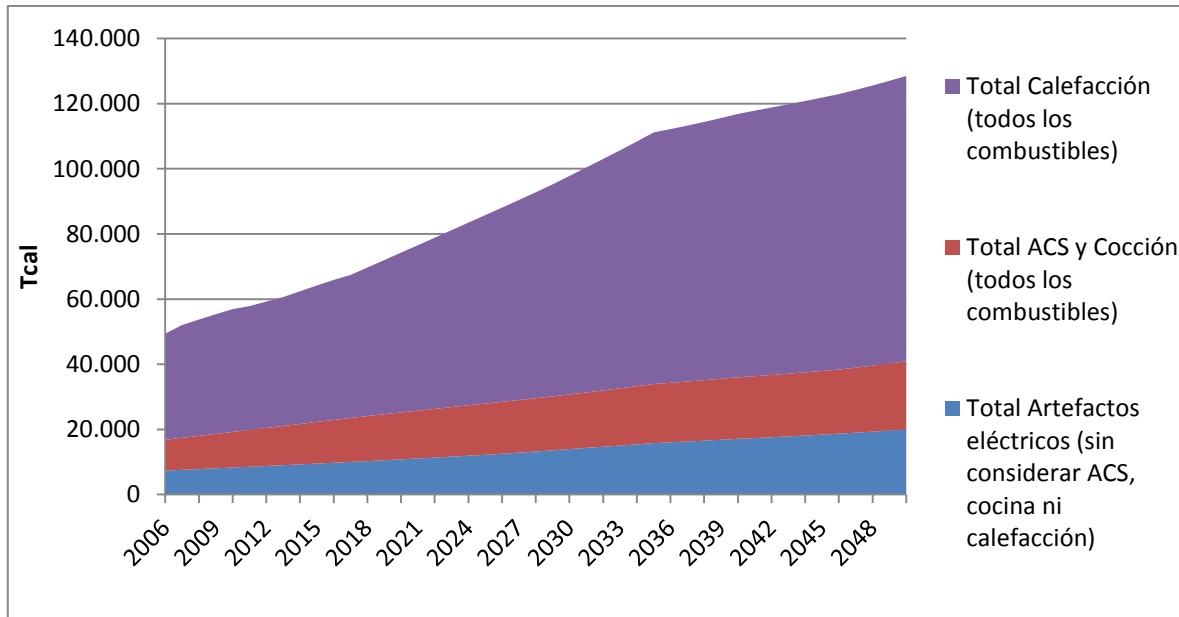


Ilustración 35: Proyección del consumo del subsector Residencial por uso final.

Lo anterior se debe principalmente a que las personas privilegiarán llegar a niveles de confort térmico en los hogares, una vez que aumente el ingreso familiar. A pesar de esto, se estima habrá un cambio en la pendiente de crecimiento de los consumos, una vez se llegue a estos niveles de confort, y donde el crecimiento adicional se deberá principalmente a los nuevos hogares que se construyen.

En relación a los combustibles usados para calefacción, se estima un incremento en el uso de otros combustibles distintos a la leña, producto de mayores restricciones ambientales. En este contexto, el kerosene y la electricidad muestran los mayores crecimientos debido en el primer caso a su menor precio, y en el segundo, a su mayor disponibilidad. También se estima un aumento importante en el uso de electricidad para calefacción como resultado del ingreso de tecnologías eficientes (bombas de calor, calefactores de alto rendimiento, etc.).

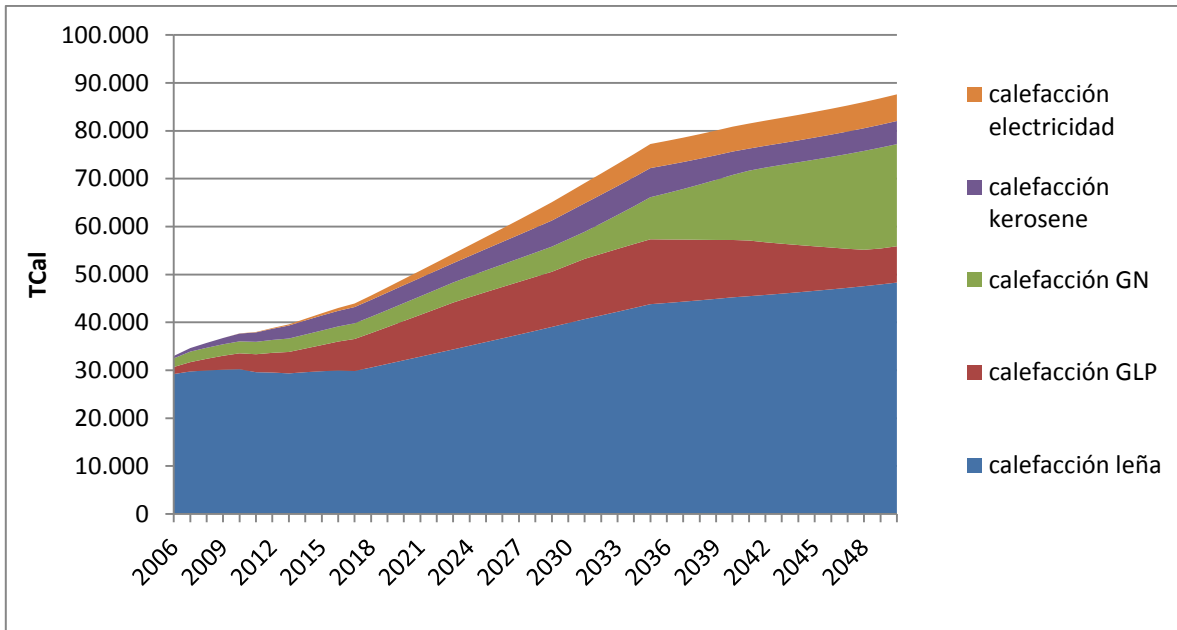


Ilustración 36: Proyección del consumo para calefacción del subsector Residencial por combustible.

En relación al consumo puramente eléctrico, se estima un aumento principalmente en los usos de calefacción, aire acondicionado, refrigeradores y stand-by. Este último por la mayor cantidad de equipos presentes en los hogares.

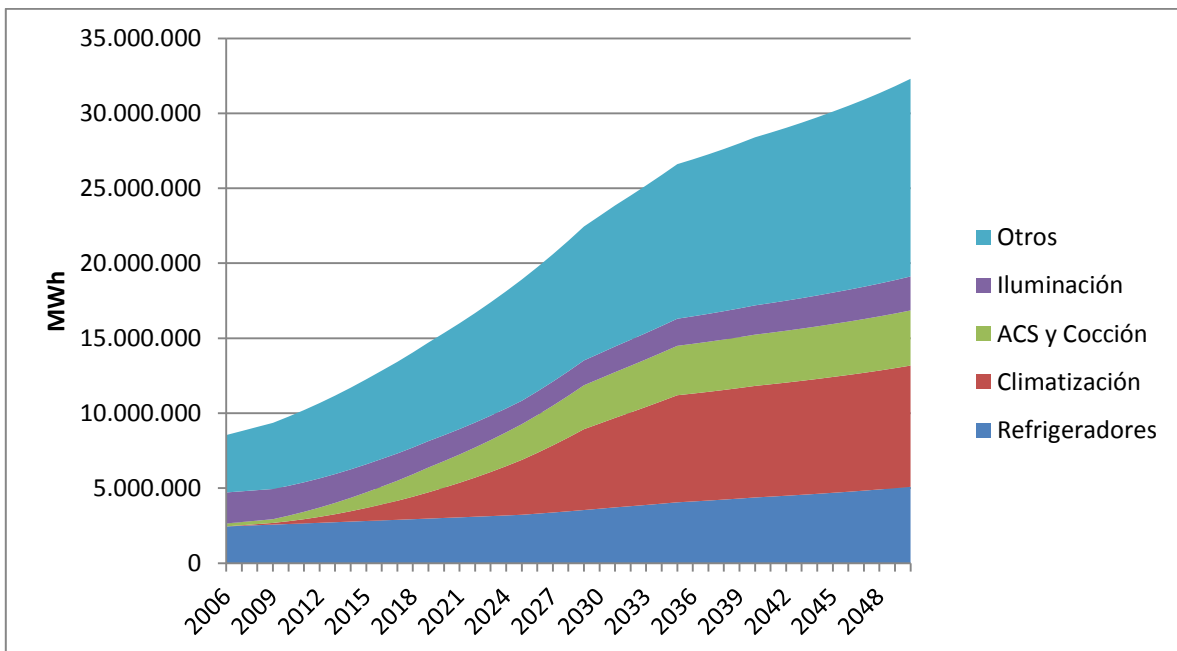


Ilustración 37: Proyección del consumo eléctrico del subsector Residencial por artefacto.

Si bien estas cifras pueden parecer elevadas, el consumo unitario por vivienda pasaría de los 165 kWh/mes/vivienda a 330 kWh/mes/vivienda, similar al caso de España, pero menor a los consumos de las viviendas en Estados Unidos, que bordean los 600 kWh/mes.

En relación al crecimiento anual del consumo energético, como se mencionó anteriormente, el que presenta un mayor crecimiento corresponde a la calefacción, la que en promedio aumentaría anualmente en 2.5% (pasando de crecimientos sobre el 4% anual, hasta menos de un 1% en los últimos años), 2.4% en artefactos eléctricos y 1.6% en ACS y cocción. En promedio, para todos los usos y zonas, el consumo energético aumentaría en un 2.3% anual promedio. Esto último es similar a lo acontecido entre 1997 y 2001, cuando se experimentaron crecimientos de esa magnitud.

#### 4.6.1.2 Comercial y Público

Los sectores Comercial y Público, presentan un gran aumento en el consumo energético, debido principalmente a una “electrificación” de este, por lo que el consumo eléctrico al año 2050 pasa a ser predominante, tal como se aprecia en las siguientes figuras:

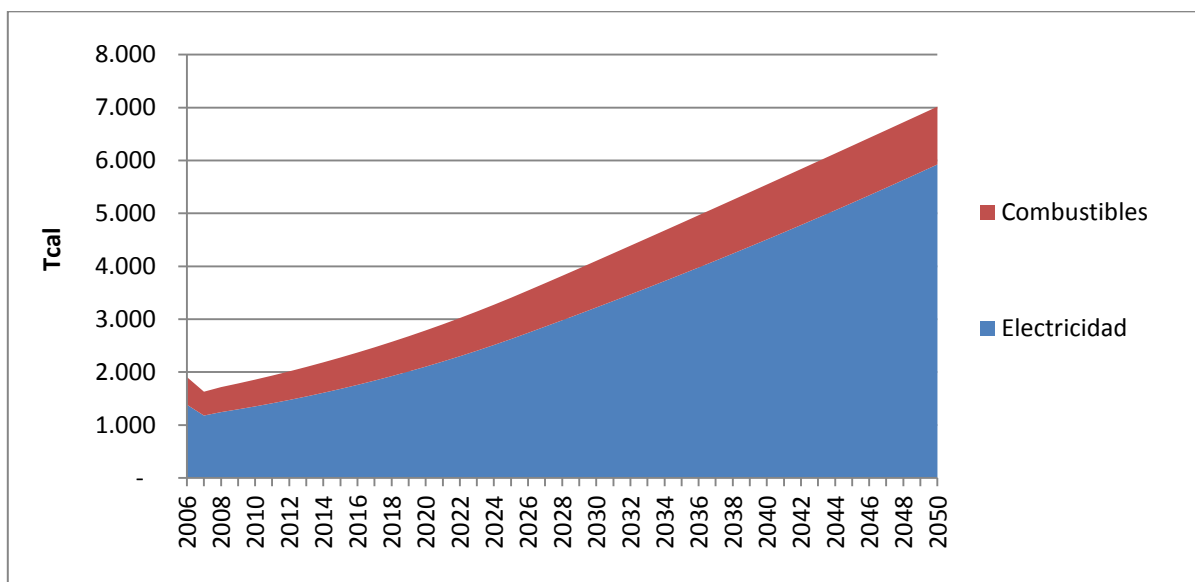


Ilustración 38: Proyección del consumo energético del subsector Público.<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Cabe aclarar que la disminución del consumo durante el primer año, se debe a que la correlación log-log para proyectar parte el crecimiento de este sector en base al PIB sectorial, la cual fue proporcionada por la contraparte, ajusta el consumo eléctrico de esta manera.

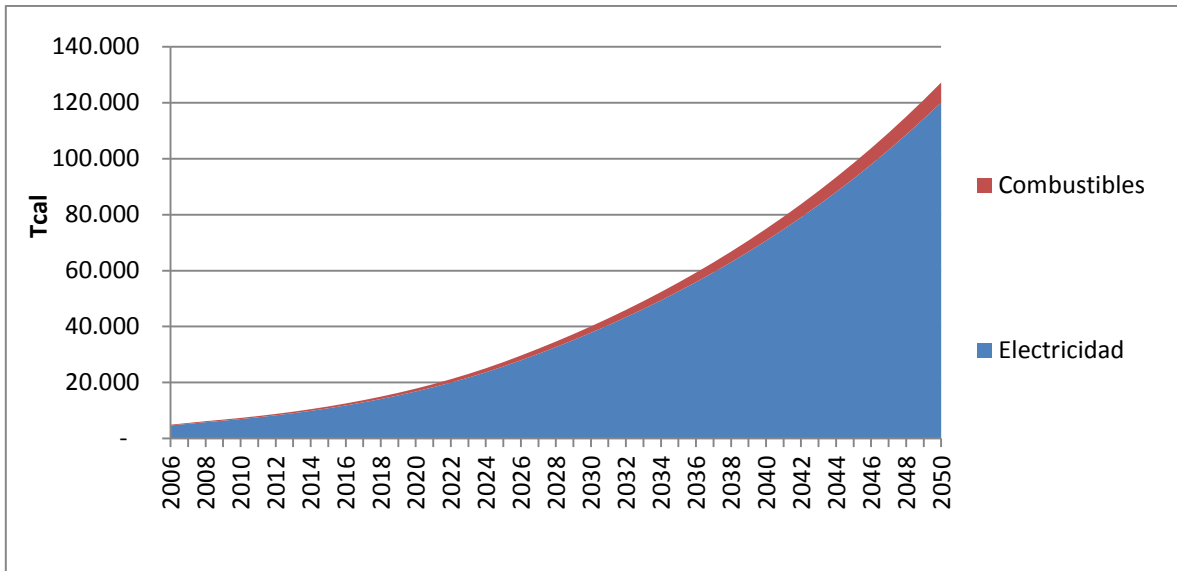


Ilustración 39: Proyección del consumo energético del subsector Comercial.

En cuanto a la distribución de combustibles no-eléctricos para el subsector Público, se asume que los coeficientes de los consumos de combustibles se mantendrá constante:

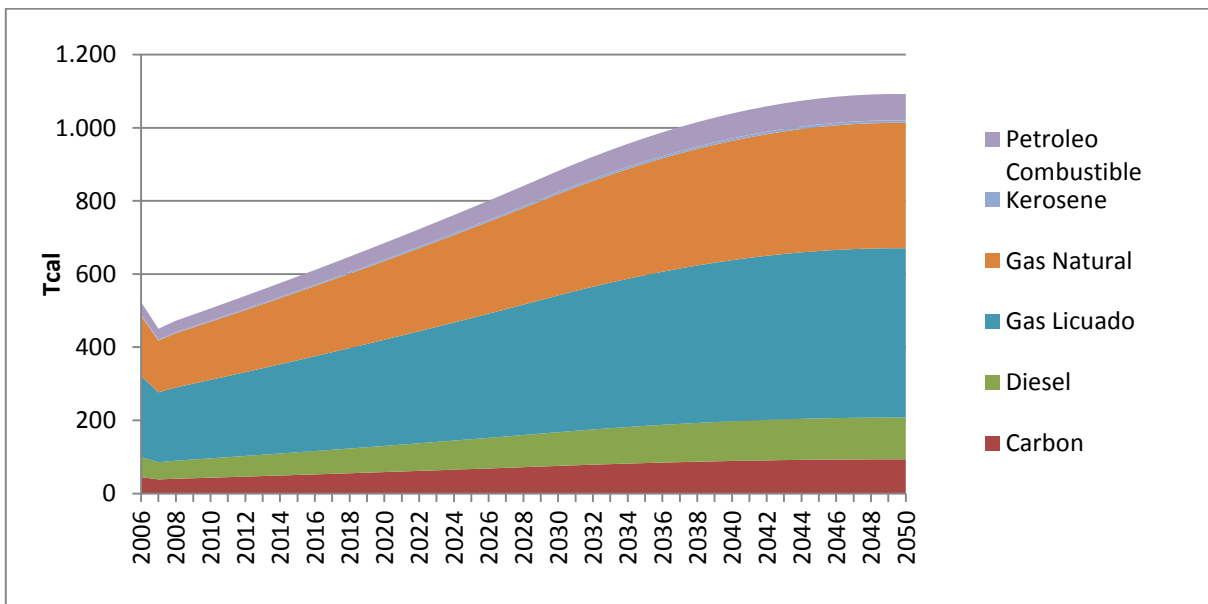


Ilustración 40: Consumo de combustibles en el sector Público (sin electricidad).

Para el subsector Comercial, tal como se aprecia en la Ilustración 41, se tiene un gran aumento en el consumo de Gas Natural, en pos del consumo de Diesel y de Gas Licuado. Siendo estos 3 combustibles los que presentan los consumos más significativos.

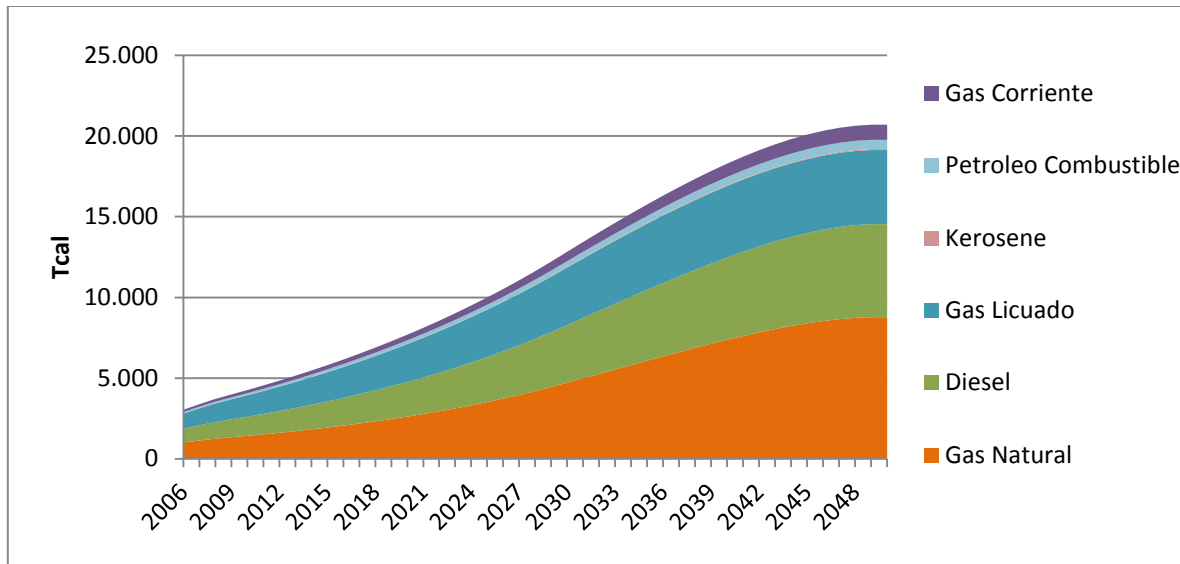


Ilustración 41: Consumo de combustibles en el sector Comercial (sin electricidad).

Como era de esperarse, gran parte del consumo eléctrico de los sectores Comercial y Público, se origina en el SIC, seguido del consumo en el SING, tal como se aprecia en las siguientes figuras:

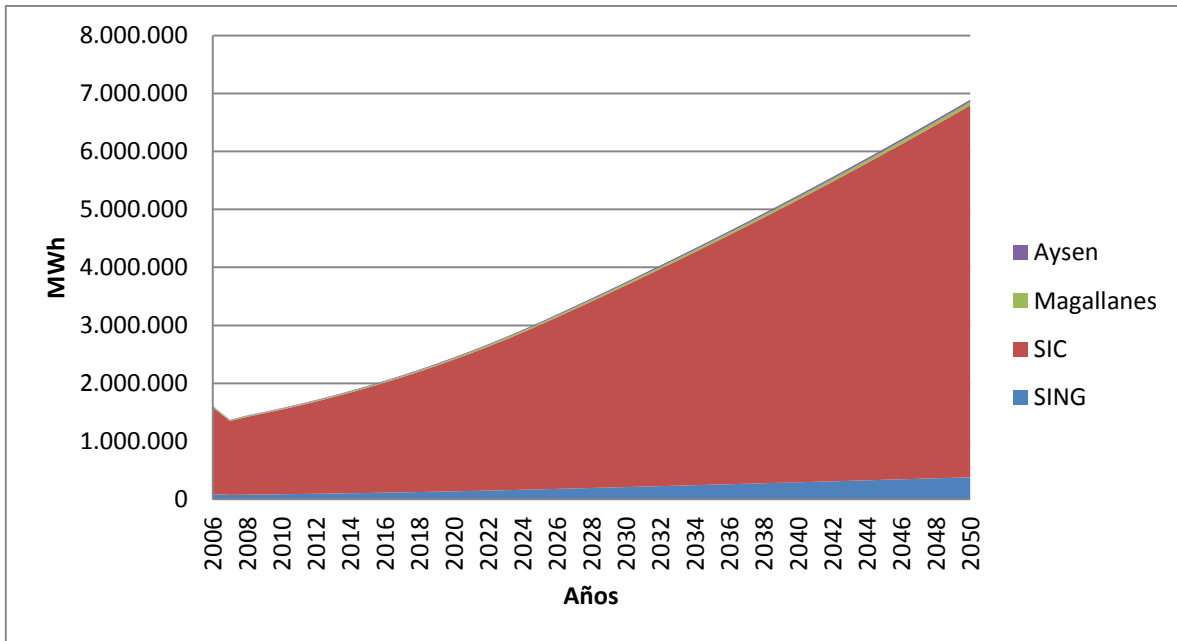


Ilustración 42: Proyección del consumo eléctrico del subsector Público.

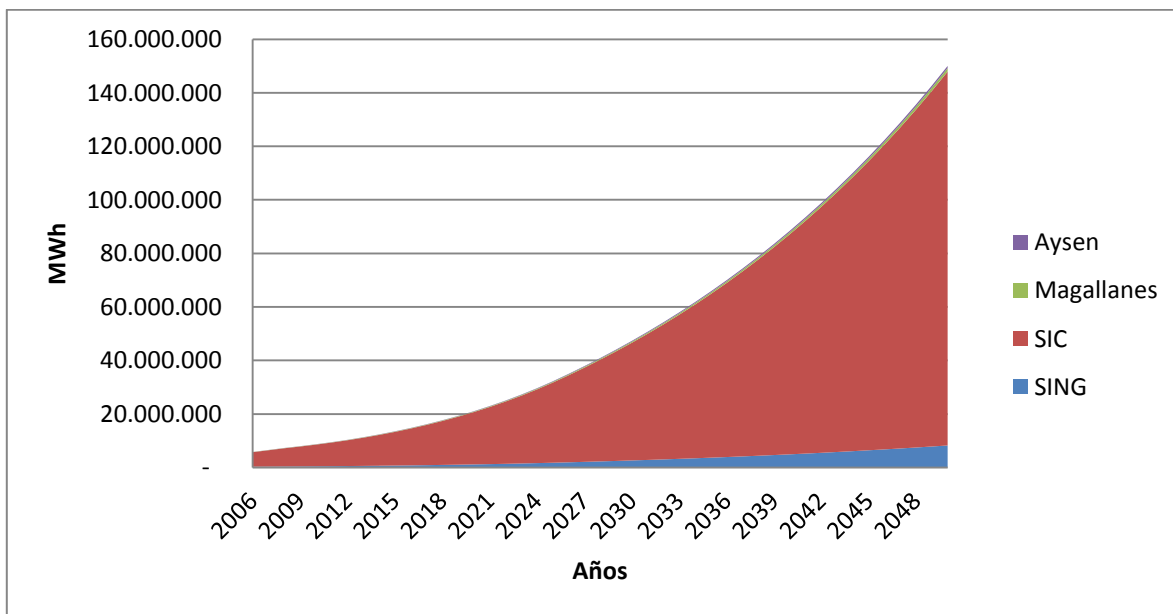


Ilustración 43: Proyección del consumo eléctrico del subsector Comercial.

A nivel total, para el sector CPR, se tiene que el consumo de leña se proyecta de acuerdo a lo mostrado en la siguiente figura:

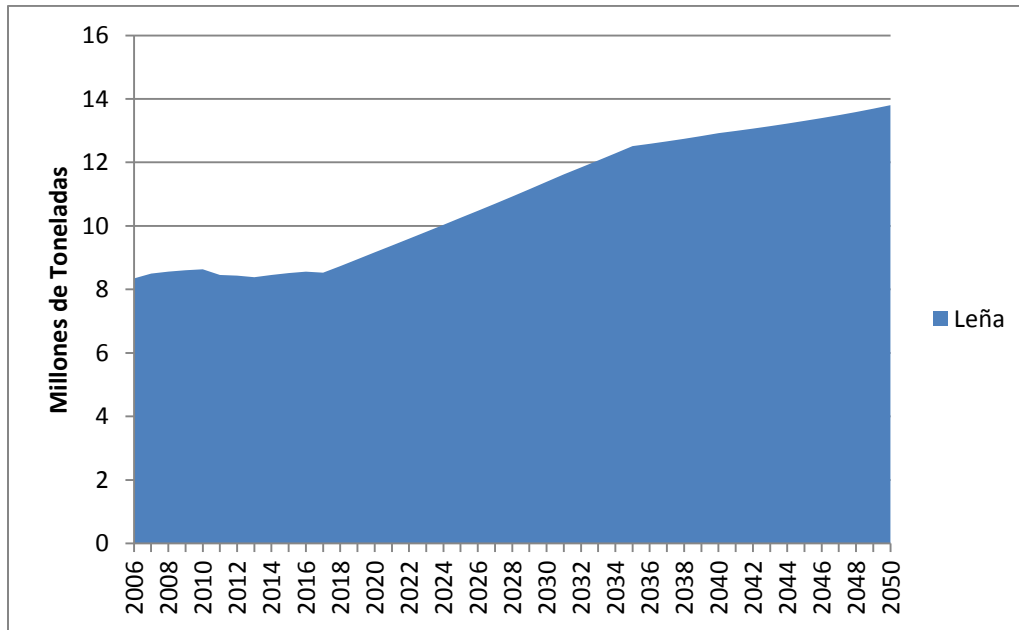


Ilustración 44: Consumo de leña para el sector CPR.

#### 4.6.2 Emisiones

El gran predominante en las emisiones totales del CPR, es el sector Residencial, seguido por el sector Comercial y en menor medida por el sector Público, tal como se aprecia en la figura que se muestra a continuación.

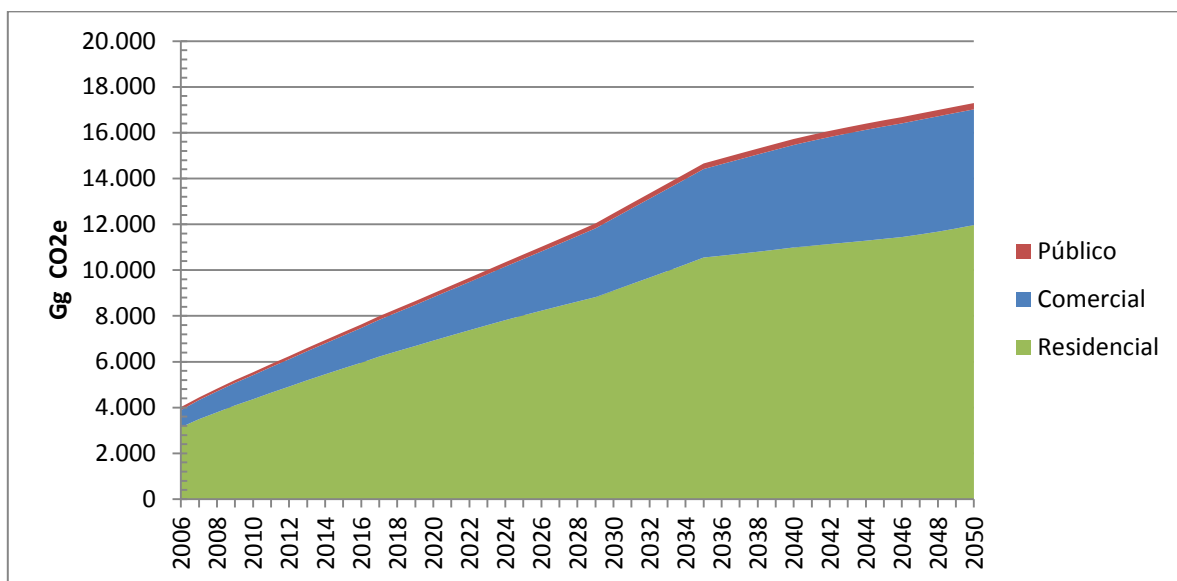


Ilustración 45: Proyección de emisiones del sector CPR.

Si bien, el subsector comercial predomina el consumo energético al año 2050, esto no se ve reflejado en términos de emisiones, debido a que este subsector junto con el público, son intensivos en consumo eléctrico, lo cual se ve reflejado en emisiones del sector Generación de Electricidad y no en CPR.

## **4.7 Escenarios, sensibilizaciones y comparaciones**

A lo largo del estudio, se identificaron las variables críticas del modelo, ya sea porque son una gran fuente de incertidumbre o porque su impacto en el sector es clave. Estas se sensibilizaron para saber el real efecto en términos de emisiones que estas tienen. A continuación se detalla cada una de las sensibilizaciones abordadas.

### **4.7.1 Escenarios de PIB**

Dentro de los parámetros entregados por la contraparte, se encuentran cinco escenarios de proyección del PIB. En la Ilustración 46 se observa que las diferencias entre el escenario pesimista y optimista hacia el 2020 es del orden del 42% en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. Esta diferencia sigue al alza hasta el 2030, donde el escenario optimista supera las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 56%. A partir de esta fecha, esta diferencia decrece hacia el 2050 hasta llegar a un 25% de diferencia.

El hecho de que se observen mayores diferencias entre los distintos escenarios de PIB al año 2030 que al final del período de estudio, radica en que al alcanzarse un cierto nivel de PIB se llega a confort térmico, por lo que los consumos energéticos tienden a estancarse después que se alcanzó tal nivel.

A continuación se presentan las diferentes proyecciones de consumo (considerando combustibles y electricidad) y emisiones de CO<sub>2</sub>e en base a los escenarios PIB:

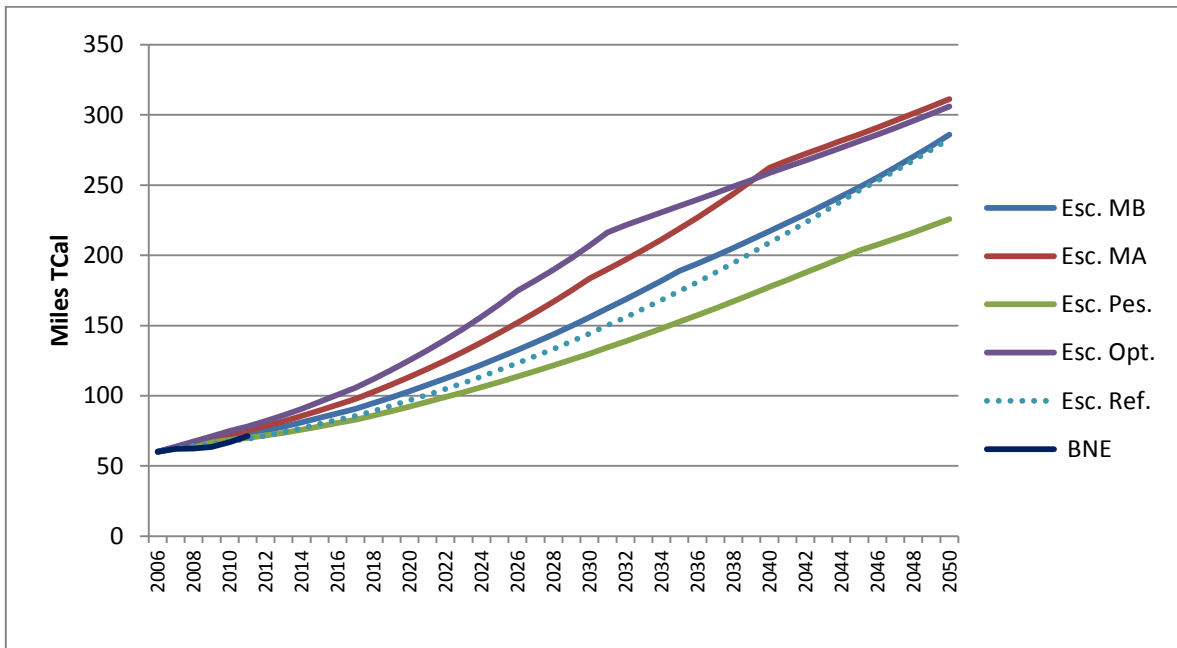


Ilustración 46: Comparación Consumos (TCal-PCS) entre escenarios de PIB.

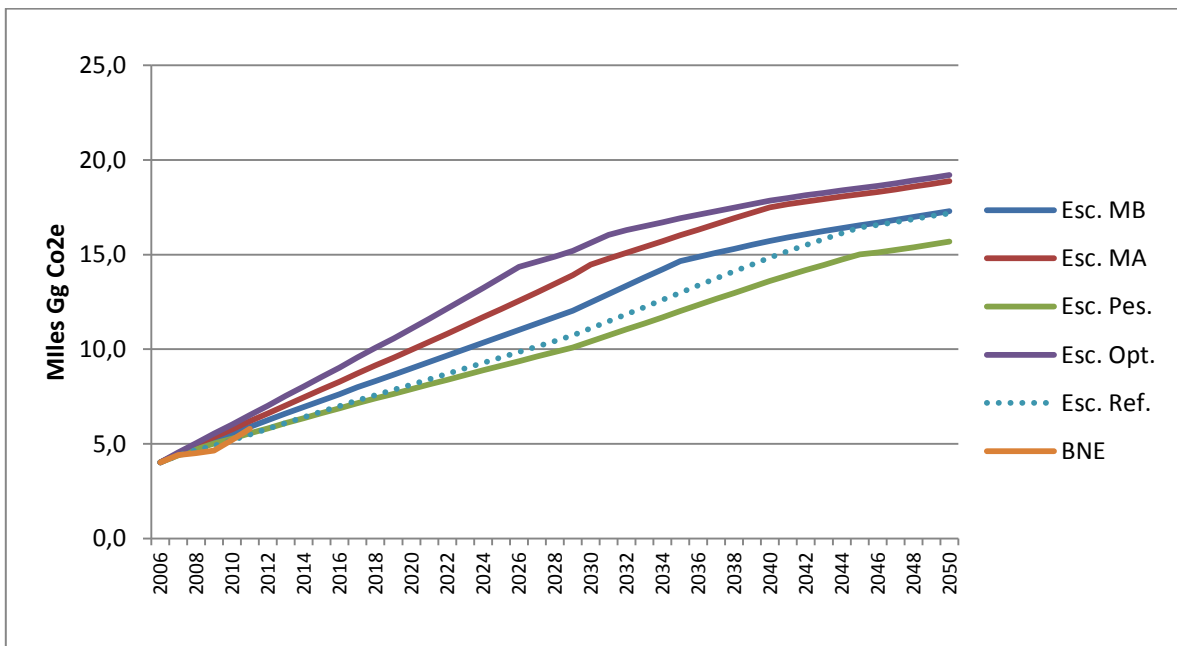


Ilustración 47: Emisiones de CO<sub>2</sub> sector CPR según escenario de PIB.

Asimismo, se observa que para este estudio las emisiones proyectadas están dentro del rango de lo que han ocurrido en otros estudios. El presente estudio se diferencia del resto en tres puntos, el primero debido a que sí existe un trato más específico para los consumos del sector residencial, el que crecerá conforme aumente el ingreso per cápita. El segundo es que el presente modelo considera un gran desarrollo económico y crecimiento del sector Comercial, lo cual no se logra apreciar en los otros estudios. El tercer punto en el cual se diferencia, es que el presente estudio es una línea base construida a partir del año 2006 con la información disponible a ese año, siendo que los otros estudios proyectan a partir del año 2009, 3 años de diferencia que pueden significar dejar de lado distintas medidas de mitigación o nueva información que haya podido surgir a 2009. Es por estas tres modificaciones que se observa al año 2025, cerca de un 20% más de emisiones que el estudio (PROGEA, 2009).

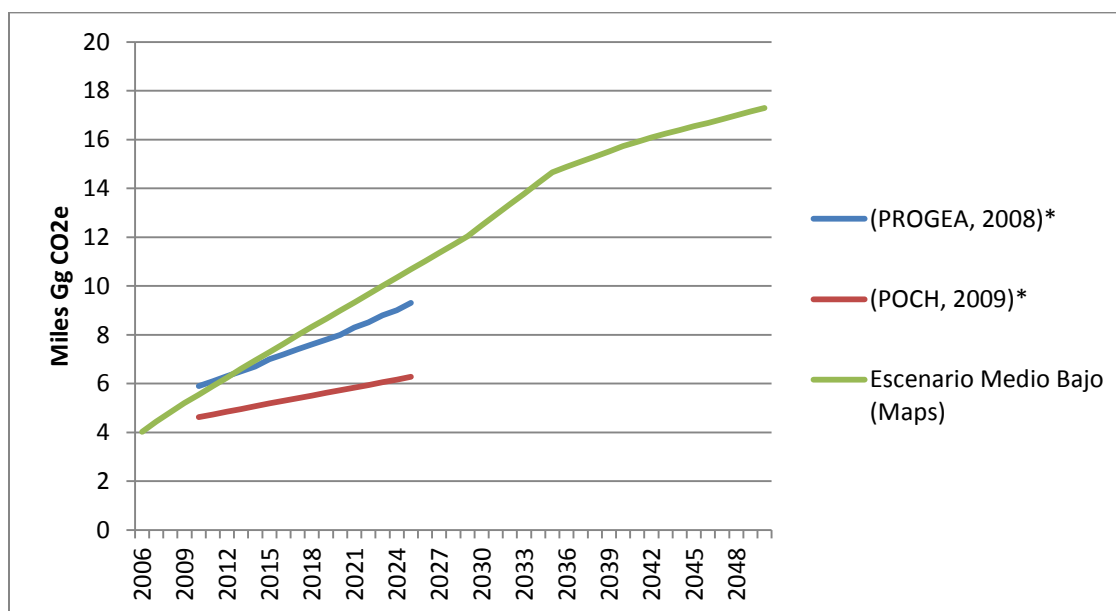


Ilustración 48: Comparación de proyección de emisiones, con otros estudios, para el sector CPR.

#### 4.7.2 Tenencia de equipos eléctricos en sector Residencial

Otra variable relevante para el modelo, es la tenencia de equipos eléctricos en el sector Residencial. En la Ilustración 49 se observa que al variar en un 20% la tenencia de estos equipos, el consumo eléctrico del sector Residencial varía en similar proporción. Esto se debe a que el consumo eléctrico en este sector, se encuentra directamente ligado al número de viviendas que posea un determinado aparato.

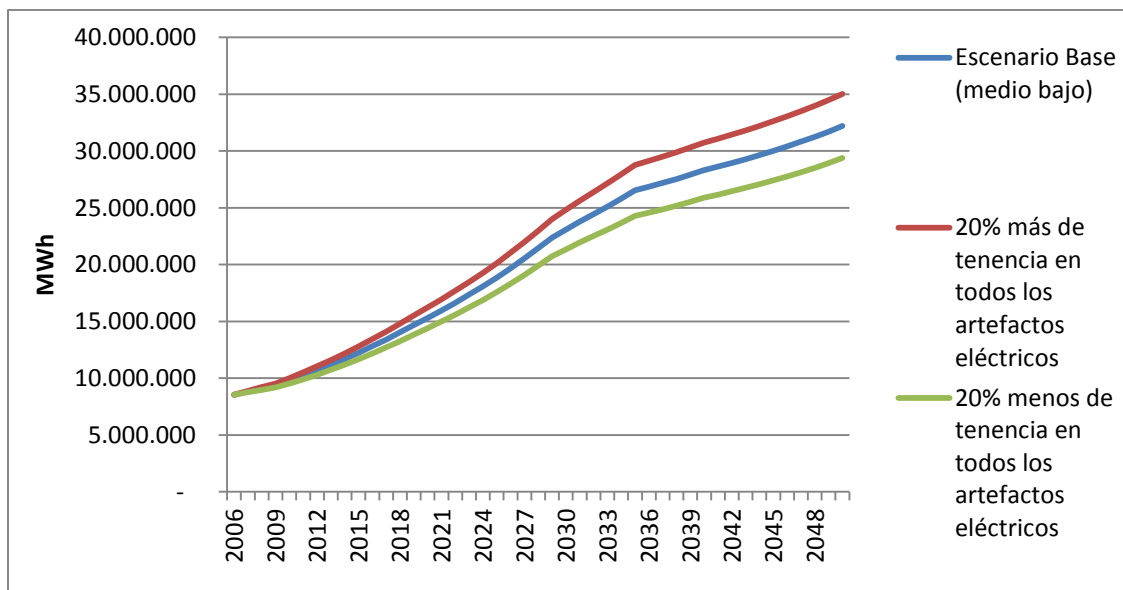


Ilustración 49: Consumo eléctrico sector Residencial según la tenencia de artefactos eléctricos.

#### 4.7.3 Cumplimiento de la Reglamentación Térmica en viviendas

En el caso base, se asume se cumplen, en su totalidad, las demandas térmicas proyectadas producto de la Reglamentación Térmica (RT) en viviendas nuevas, esto debido a que al año 2006 no se poseía información acerca de su grado de cumplimiento futuro. Es por esto, que pasó a ser una variable crítica del modelo, debido a que presenta incertidumbre en su proyección de cumplimiento. En la Ilustración 50, se observa como varía el consumo energético en el sector Residencial, si se asume que solo alcanza un 50% de la demanda térmica proyectada por la RT.<sup>61</sup> El consumo energético, tiene una disminución menor al 10% en este caso, lo que representa la baja sensibilidad al modelo frente a esta variable. Esto se debe principalmente a que, como la RT se aplica a viviendas nuevas, estas representan un bajo porcentaje del total del parque de viviendas por lo que el efecto en el consumo total de energía es menor.

<sup>61</sup> En la práctica esto quiere decir que si, por ejemplo, con la reglamentación térmica, una vivienda pasaría de requerir 200 kWh/m<sup>2</sup>/año a 100 kWh/m<sup>2</sup>/año, sólo logro reducir su demanda energética a 150 kWh/m<sup>2</sup>/año.

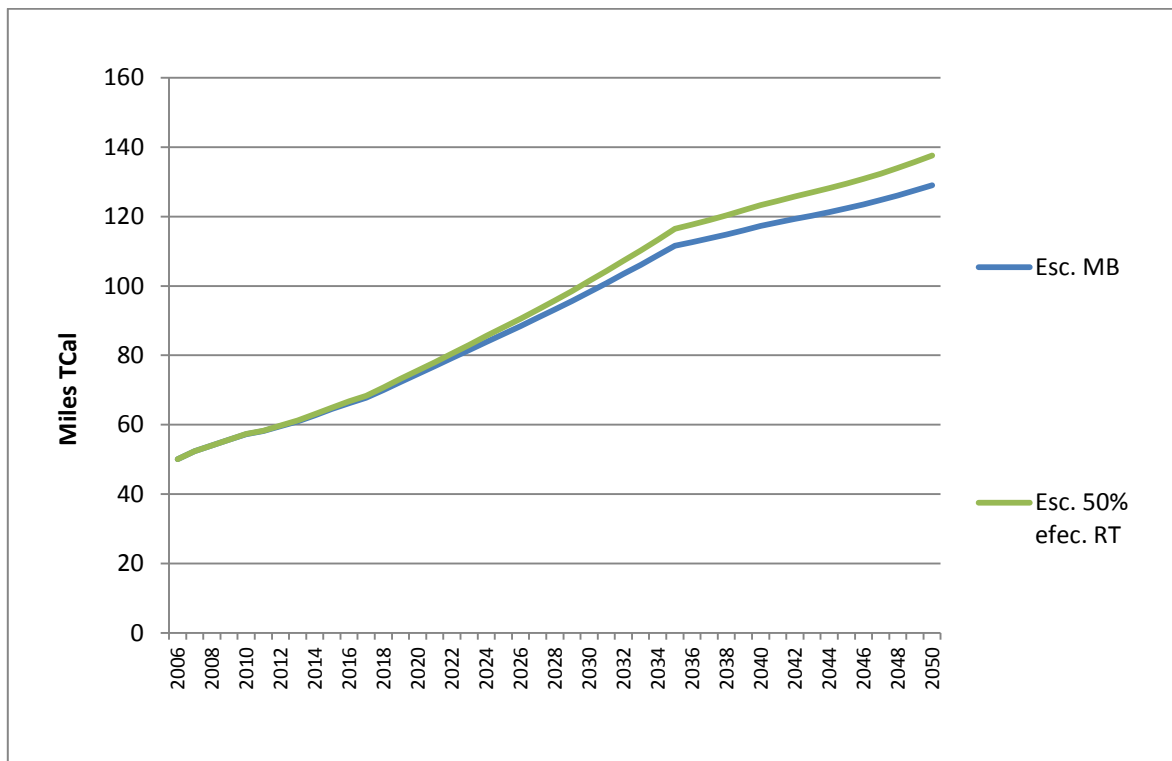


Ilustración 50: Consumo energético del sector Residencial respecto al grado de cumplimiento de la RT.

#### 4.7.4 Grado de alcance de confort térmico en viviendas

Una de las variables fundamentales en el modelo del sector Residencial es el confort térmico. Esta variable, en el caso base, resulta de un análisis del nivel de precios de combustibles y del nivel del PIB alcanzado por la economía. Se puede tener el caso, tal como se muestra en la Ilustración 51, de que el confort térmico se alcance en el 100% de las viviendas, en donde se tiene que existe un gran aumento del consumo energético en el sector Residencial a lo largo de todo el período de estudio, acrecentándose en los últimos años. Este aumento se debe a que las viviendas que alcanzan confort térmico, presentan un mayor consumo energético para uso de calefacción.

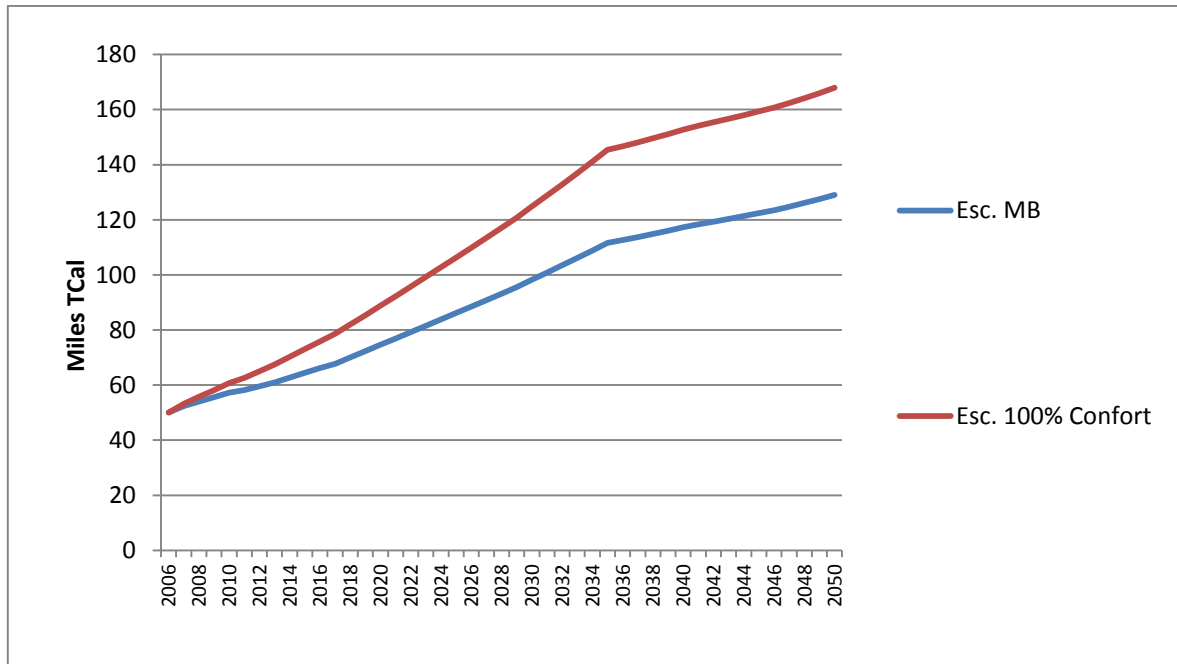


Ilustración 51: Consumo energético sector Residencial según alcance del confort térmico.

#### 4.7.5 Tendencia de habitantes por vivienda

Una variable relevante es la proyección de habitantes por vivienda, la cual permite proyectar el número de viviendas, y por ende, el consumo energético y emisiones. De acuerdo al desarrollo explicado anteriormente, este indicador se proyectó en base a comparación a experiencias internacionales, siguiendo la evolución que tuvo España. Para este ejercicio, se tomó como base un escenario dentro del cual se mantenían constantes el número de viviendas respecto a un PIB promedio. La Ilustración 52 muestra que las viviendas crecerán fundamentalmente en la zona B, aunque la zona A también tendrá crecimiento significativo del número de viviendas.

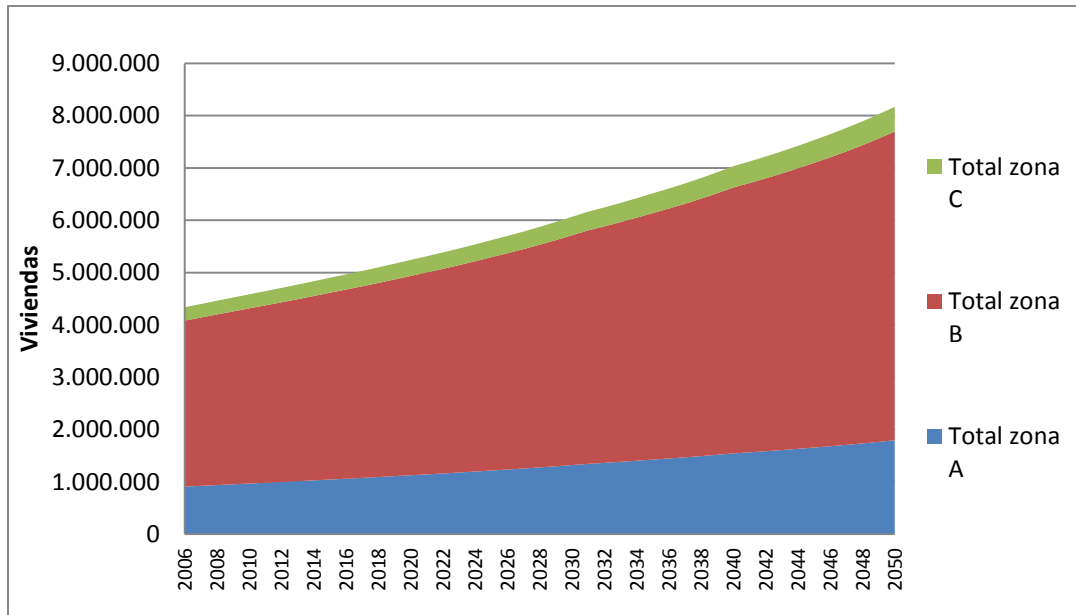


Ilustración 52: Proyección de viviendas para período 2006-2050.

Para efectos de comparar el efecto que tiene este indicador en el consumo energético, se proyectaron dos escenarios, donde se modifica la pendiente en que evoluciona este indicador, esto quiere decir variando la velocidad en que se llega al valor de 2.2 habitantes por vivienda, que es el valor que se considera en régimen. Esto se puede ver en la siguiente figura:

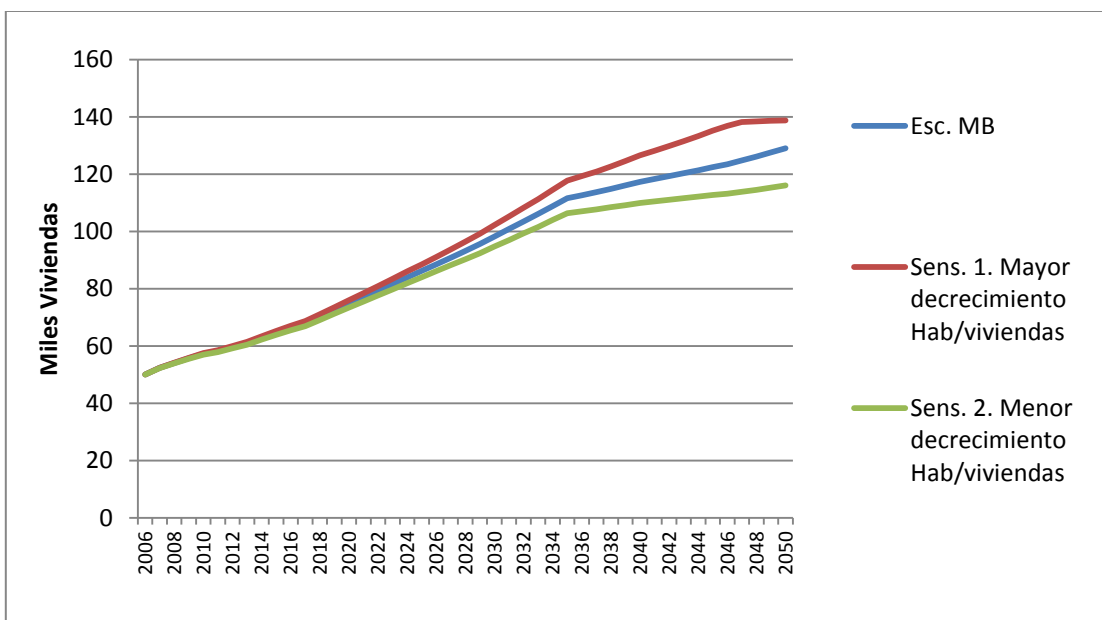


Ilustración 53: Sensibilidades con respecto al número de Viviendas (sólo sector Residencial).

En la Ilustración 54, se muestra el consumo promedio de energía por vivienda de los tres escenarios de viviendas, en donde se observa que, para todos los casos, este aumenta hasta un cierto punto, luego del cual comienza a disminuir o a mantenerse. Este punto, corresponde al año en el que se alcanza el confort térmico, por lo que el consumo de las viviendas se mantiene constante. Además, cada vivienda nueva que se construye es más eficiente que el promedio y mejor aislada, por ende con un menor consumo, lo que hace que vaya disminuyendo el consumo promedio de todo el conjunto de viviendas.

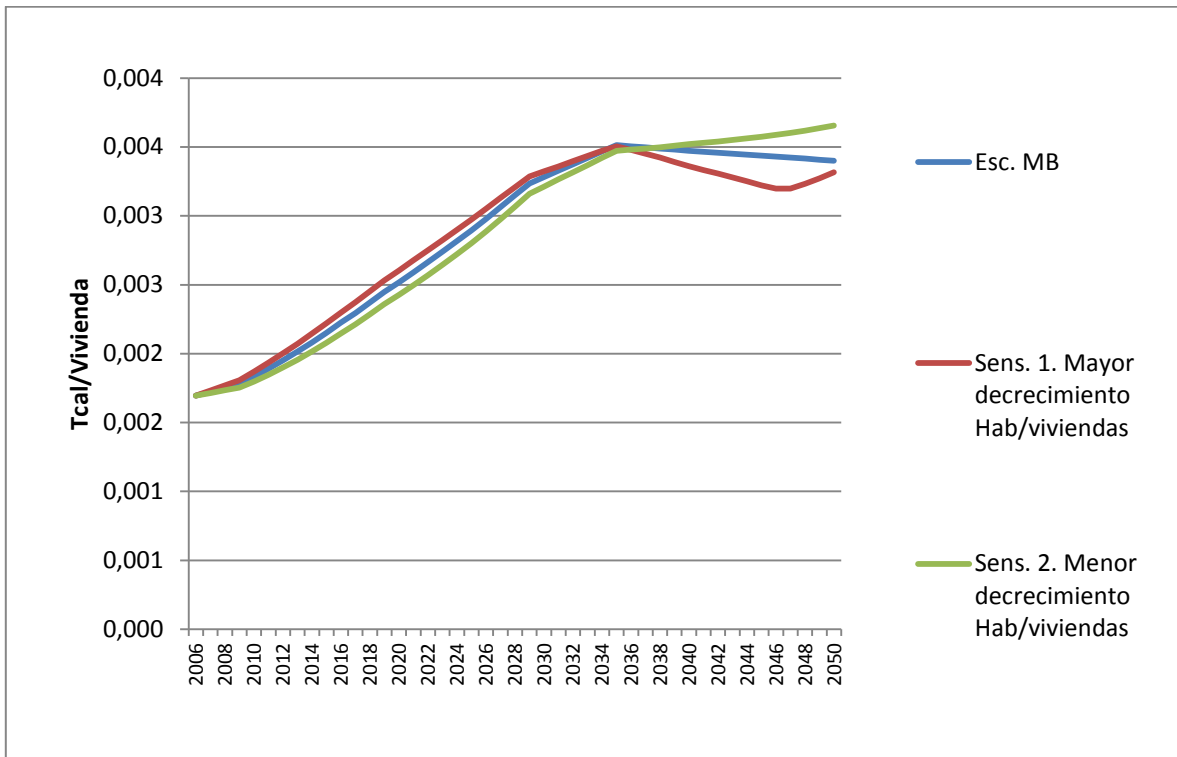


Ilustración 54: Sensibilidades con respecto al número de Viviendas (sólo sector Residencial).

Los consumos y emisiones de estas sensibilidades se muestran a continuación:

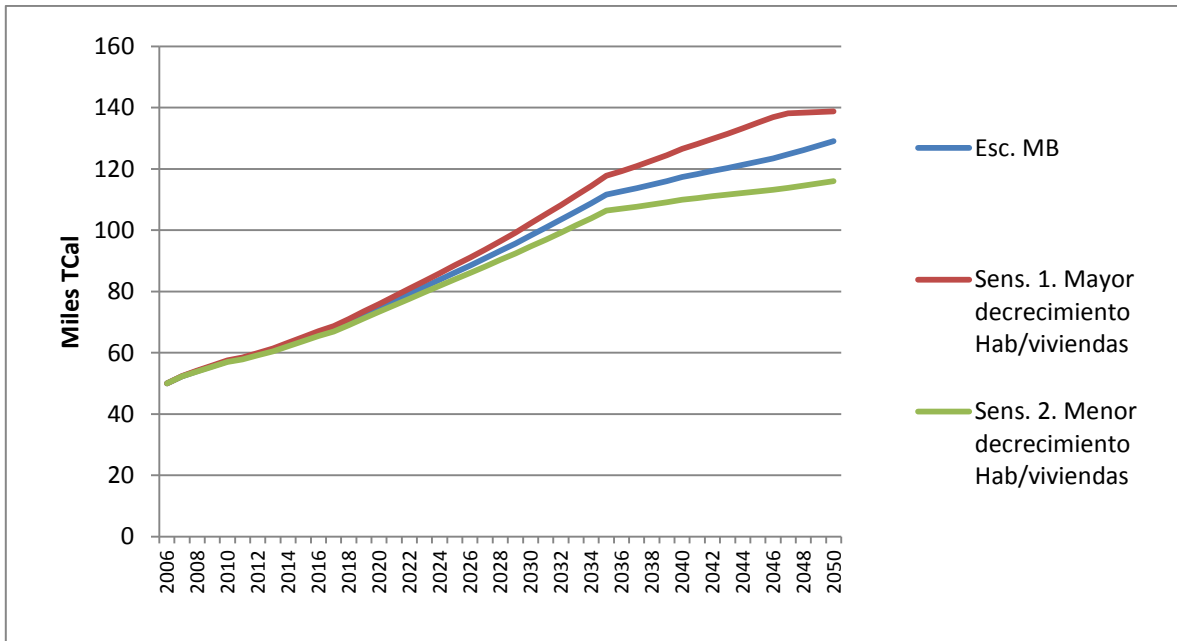


Ilustración 55: Sensibilidades con respecto al número de Viviendas -Consumos (sólo sector Residencial).

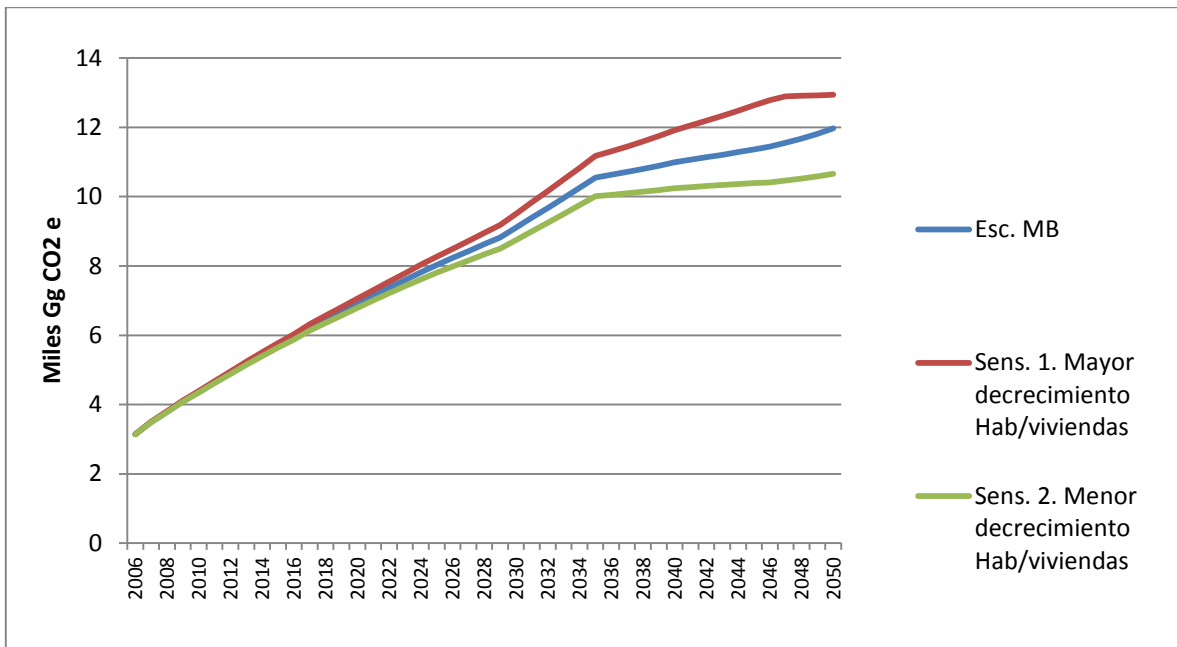


Ilustración 56: Sensibilidades con respecto al número de Viviendas -Emisiones (sólo sector Residencial).

Como se observa, variaciones en la relación habitantes por vivienda tiene un efecto importante en las emisiones. A nivel global, estas variaciones pueden representar una baja al 2050 del 8% para el caso de un menor decrecimiento de habitantes por vivienda respecto al Escenario Medio bajo, y

de un 5% por sobre el Escenario Medio bajo respecto a una Sensibilidad mayor de decrecimiento de habitantes por vivienda. Esta variación se explica en parte al gran porcentaje de artefactos que se comparten en la vivienda y que aumentan o disminuyen los consumos energéticos.

## 5 Bibliografía

- Akpinar-Ferrand, E., & Singh, A. (2010). Modeling increased demand of energy for air conditioners and consequent CO2 emissions to minimize health risk due to climate change in India. *Environmental Science & Policy* , 702-712.
- Ambiente Consultores-PRIEN. (2007). *Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas*.
- California Energy Commission. (2009). *California Residential Appliance Saturation Study*.
- Campos, J. (1992). *Incentivo a la eficiencia térmica habitacional en la comuna de La Florida*. [http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/1992/2\\_Campos.pdf](http://www.cipma.cl/web/200.75.6.169/RAD/1992/2_Campos.pdf).
- CDT. (2012). *Propuesta de Medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago*.
- CDT. (2009). *Usos finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile*.
- CNE. (2007). *Balance Nacional de Energía 2006*.
- CNE. (2005). *Comportamiento del Consumidor Residencial y su Disposición a Incorporar Aspectos de Eficiencia Energética en sus Decisiones y Hábitos*.
- Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. (2008). *Energy Use in the Australian Residential Sector, 1986 – 2020*.
- Frank, T. (2005). Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. *Energy and Buildings* , 1175-1185.
- GAMMA. (2009). *Secretaría Técnica Mesa de Eficiencia Energética Sector Retail*.
- Heaps, C., & Pistonesi, H. (2011). Modelos integrados de Energía y Medio Ambiente. *Seminario - Taller Política Energética y Desarrollo Sustentable*. Argentina: SEI-Boston y Fundación Bariloche.
- IDIEM. (2010). *Apoyo a la Capacitación en Eficiencia Energética y Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de Energía en Establecimientos Educativos en Chile*.
- IDIEM. (2010). *Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de Energía en Establecimientos Asistenciales de Chile*.
- IEA. (2012). *Anual Energy Outlook 2013*.
- INE. (2007). *Informe Anual Edificación 2006*.
- INE-CEPAL. *Chile: Proyecciones de la Población por Sexo según Edad, Total País, 1950-2050*.

- Lam, J. C., & Li, D. (2003). Electricity consumption characteristics in shopping malls in subtropical climates. *Energy Conversion and Management* , 1391-1398.
- Lam, J. C., & Wan, K. K. (2008). Sensitivity analysis and energy conservation measures implications. *Energy Conversion and Management* , 3170-3177.
- Mena-Carrasco, M., & Oliva, E. (2012). Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile. *Science of The Total Environment* .
- MIDEPLAN. (2006). *Encuesta CASEN*.
- Ministerio de Hacienda. (2008). *Diagnósticos energéticos en el sector público*.
- MINVU. (2006). *Manual de Aplicación Reglamentación Térmica*.
- MMA. (2011). *Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*.
- Mundaca, L., Neij, L., & Worrell, E. (2010). Evaluating Energy Efficiency Policies with Energy-Economy Models. *Annual Review of Environment and Resources* .
- ODC. (2009). *Massachusetts Residential Appliance Saturation Survey*.
- PROGEA. (2009). *Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*.
- R+C Power Solutions. (2007). *Estudio de Consumo Standby en Hogares Chilenos*.
- SEC. (2006). *Informe Estadístico*.
- Urge-Vorsatz, D., & Harvey, L. (2007). Mitigating CO2 emissions from energy use in the world's buildings. *Building Research and Information* .
- Wan, K. K., & Li, D. H. (2012). Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications. *Applied Energy* , 274-282.

## 6 Anexos

### 6.1 Anexo 1: Resumen estudios relevantes

#### 6.1.1 Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación (PROGEA, 2009)

Estudio solicitado por Endesa Latinoamérica y llevado a cabo por el Programa de Gestión y Economía Ambiental de la Universidad de Chile, donde, entre otros entregables, se procedió a estimar las emisiones históricas de GEI entre los años 1986 y 2006 para diferentes subsectores económicos, se proyectaron los consumos energéticos sectoriales entre los años 2007 y 2030, y finalmente se estimó el potencial de abatimiento de emisiones y se analizaron diversos escenarios de cumplimiento de reducciones.

El enfoque utilizado para estimar las emisiones históricas se basa en los datos de balance nacional de energía, considerando los mismos subsectores que coinciden con los del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), utilizándose, debido a la información disponible, un enfoque *top-down* para la determinación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, basado en la combustión de los combustibles usados en los distintos sectores. De acuerdo a este estudio, los sectores que generan más emisiones de GEI corresponden al sector transporte (35%), industrial y minero (22%) y centros de transformación (33%), los que aportan cerca del 90% de las emisiones por concepto de consumo de combustibles. Por su parte, el sector CPR aporta menos del 10% de las emisiones de GEI por este concepto<sup>62</sup>, y el crecimiento de las emisiones experimentadas por este sector es sustancialmente menor a las emisiones de los otros sectores, de acuerdo a lo que se puede apreciar en la siguiente figura:

---

<sup>62</sup> Este valor no considera las emisiones de GEI producto de la electricidad del sector CPR, la cual está considerada en el sector “centros de transformación”.

Evolución Sectorial de las Emisiones  
de GEI 1986-2006

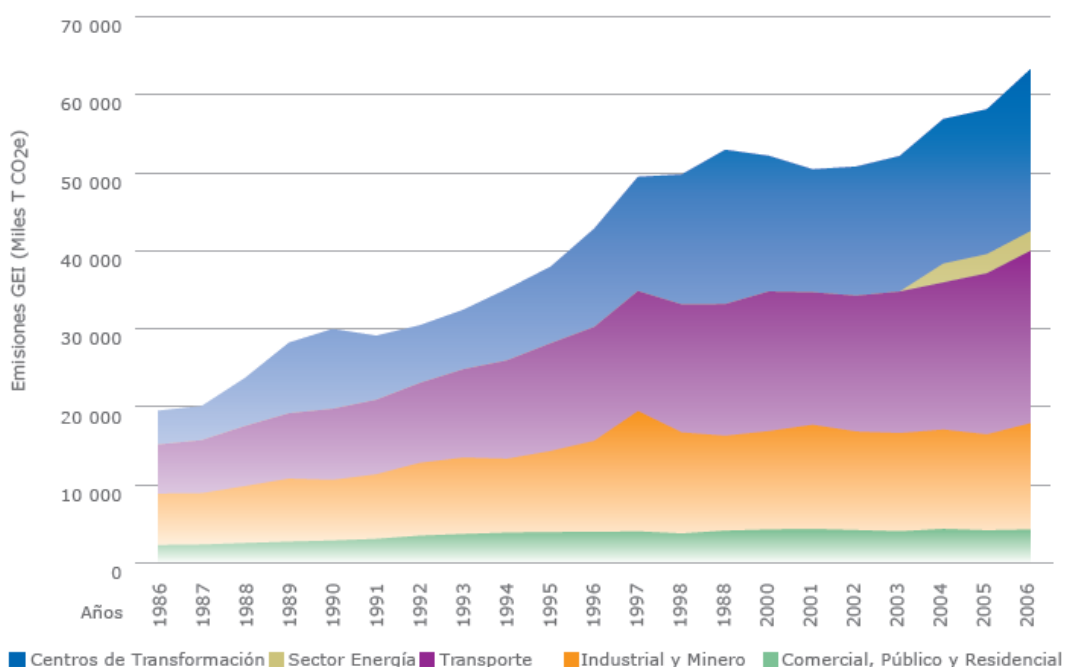


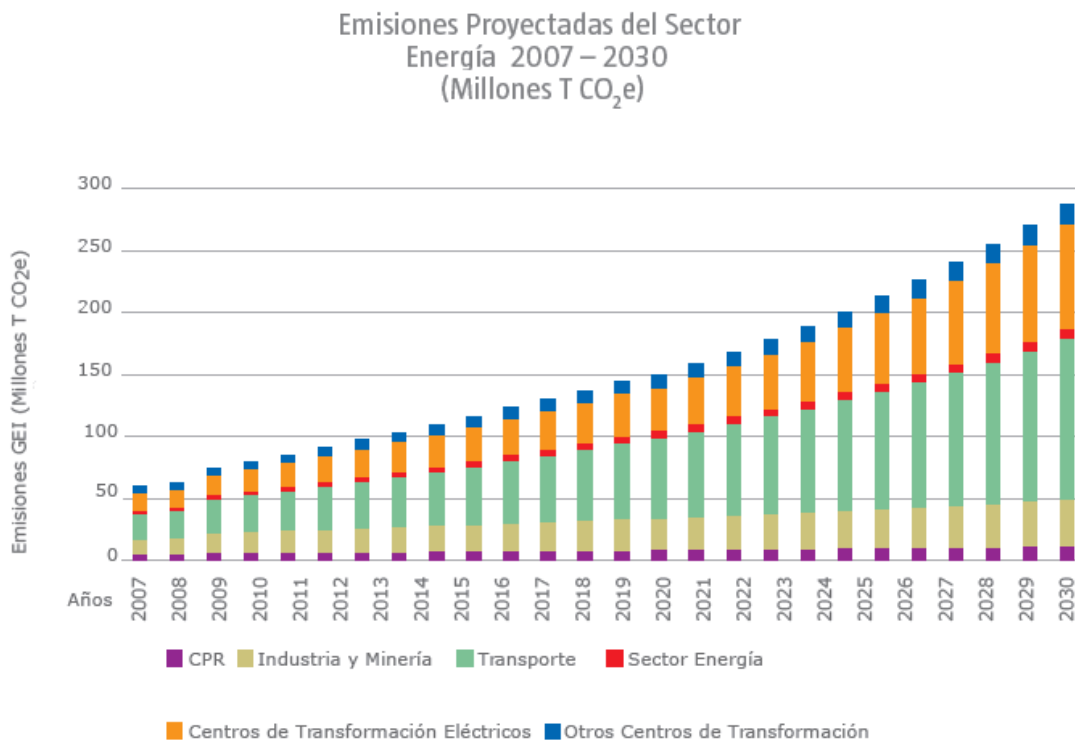
Ilustración 57: Evolución sectorial emisiones de GEI 1986 – 2006. (PROGEA, 2009).

Para las estimaciones de los GEI en el horizonte 2007-2030, se procedió a usar proyecciones econométricas respecto de las estadísticas de consumo energético, desagregados de acuerdo a sectores económicos usados en el balance nacional de energía de la CNE. El enfoque no consideró el efecto de los precios de combustibles, debido al efecto de corto plazo que generan, en contraposición al objetivo de mostrar tendencias de largo plazo del estudio. Tampoco se consideraron efectos de saturación energética, como los que se da en países desarrollados donde el consumo energético per cápita se desacopla del PIB per cápita, debido a que Chile aún se encuentra lejos de esos niveles.

De la misma forma que en la estimación histórica de los GEI el sector CPR se consideró como sólo un subsector no separándose entre comercial, público y residencial, y el crecimiento en el consumo energético se indexó al PIB, cuyo crecimiento se estimó en un 5% hasta el 2015, y de un 4% hasta el 2030. Esto podría contradecir datos que muestran que cada uno de estos sectores crece a tasas distintas.

De acuerdo a estos supuestos, de la misma forma como se había comportado hasta el 2006, el sector CPR presenta una presencia comparablemente menor que los otros subsectores, aportando

menos del 5% las emisiones de CO<sub>2</sub> del total de emisiones de todos los sectores para el año 2030, de acuerdo a lo que se aprecia en la siguiente figura:



**Ilustración 58: Emisiones proyectadas del sector energía 2007 – 2030 (PROGEA, 2009).**

A pesar de que este sector no aporta más del 7% respecto al total de emisiones de GEI para el año 2006, y que de acuerdo a este estudio no supere los 10,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> directas para el 2030 -es decir un 3,7% del total-, si posee potenciales de reducción de emisiones relevantes las que se estiman en 2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> directas para el año 2030, y 14 millones indirectas<sup>63</sup>, siendo en términos porcentuales, uno de los sectores con mayor potencial de reducción de emisiones. Las medidas de reducción de emisiones propuestas en este estudio se enfocan principalmente en el sector residencial, responsable de cerca del 80% del consumo energético del sector CPR, y están principalmente ligadas a medidas de eficiencia energética, donde las que presentan mayor potencial son las medidas de reacondicionamiento térmico, programas de etiquetado y otras medidas de eficiencia energética. Pero más allá del potencial de reducción, lo que destaca es la costo-efectividad de las medidas de reducción del sector.

<sup>63</sup> Menores emisiones por menores consumos de electricidad, que son contabilizadas en el sector de generación eléctrica.

En conclusión, este estudio otorga una mirada global del comportamiento de las emisiones de GEI en Chile, y realiza proyecciones que permiten estimar los sectores de mayor relevancia futura respecto a las emisiones de GEI. En relación al sector CPR, el que presenta un bajo peso específico respecto a los otros sectores, presenta un crecimiento acotado aunque alto potencial de abatimiento en relación a otros sectores. Sin embargo, el enfoque *top-down* para representar la tendencia BAU presenta limitaciones para efectos de caracterización del sector, y de esta forma, hacer proyecciones más detalladas basadas en los artefactos y equipos que consumen energía en el sector CPR y los hábitos de los habitantes, es decir un enfoque *bottom-up*. Por otro lado, la indexación al PIB si bien es un buen indicador, es probable que este sector presente crecimientos mayores en el subsector comercial, lo que no se correlacionaría al PIB, y el sector residencial es más probable tenga un comportamiento más cercano al crecimiento del número de viviendas, por lo que se deberá analizar con más detalle para efectos de la proyección de este estudio.

### 6.1.2 Curva de Conservación de la Energía del sector residencial (CDT, 2009)

Estudio realizado el 2010 por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción donde se caracterizaron los usos finales de la energía del sector residencial, y se evaluaron las medidas de eficiencia energética y tecnologías posibles a aplicar en el sector residencial para los próximos 10 años, estimando los costos y ahorros involucrados. Para realizar este estudio, se desarrolló una encuesta la cual se llevó a cabo en 3,220 hogares de Chile, distribuyéndose la muestra en las 7 zonas térmicas, y en sectores urbanos y rurales, obteniéndose un error por zona térmica menor al 5%.

La encuesta fue realizada entre noviembre del 2009 y enero del 2010, y estuvo compuesta por aproximadamente 200 preguntas que buscaron caracterizar el tipo de vivienda, las cuentas de energéticos, los equipos consumidores presentes en los hogares y sus hábitos de uso, tales como cocina, iluminación, calefacción, refrigeradores, televisores, computadores, hervidores, lavadoras, secadoras, planchas, aspiradoras, el nivel socioeconómico de los habitantes, y su conocimiento acerca de la eficiencia energética.

Los resultados de estas encuestas permitieron estimar el consumo final de energía para cada uso, los cuales fueron finalmente expandidos a nivel nacional para estimar el comportamiento de los más de 5 millones de hogares, de forma desagregada para cada uso, por nivel socioeconómico, zona térmica, sector urbano o rural, etc. Estos resultados fueron finalmente ajustados de acuerdo a los datos nacionales del balance nacional de energía para el año 2009, para la mayoría de los combustibles, y de la encuesta CASEN para el caso de la leña, ya que fue la referencia más confiable de este consumo para ese momento. Es importante mencionar que este estudio se enfocó sólo en el sector residencial, no considerando sectores comercial y público, y los resultados de la caracterización corresponden a la energía final, es decir, descontados los factores de

transformación (en el caso eléctrico) y transporte a los hogares, y utilizando el poder calorífico inferior de los combustibles, ya que la eficiencia de los equipos mayormente está indicada de acuerdo al uso de esta propiedad específica.

Los resultados de uso final de la energía se encuentra en la sección “Caracterización de los Sectores Comercial – Público – Residencial”, separados por zona geográfica por lo que no se procederá a mostrarlos en este capítulo. Sin embargo, dentro de los resultados relevantes para este estudio, se encuentra la tenencia de equipos y artefactos consumidores de energía, que demuestra alta presencia de equipos aspiracionales, tales como televisores, lavadoras, equipos musicales, y aún una baja presencia de equipos que aporten al confort térmico de las viviendas, tales como aire acondicionado, e incluso el uso de agua caliente sanitaria no se aprecia como una prioridad, estando en lugares posteriores a los televisores, lavadoras, equipos de música y teléfonos celulares, como se aprecia en la siguiente figura:

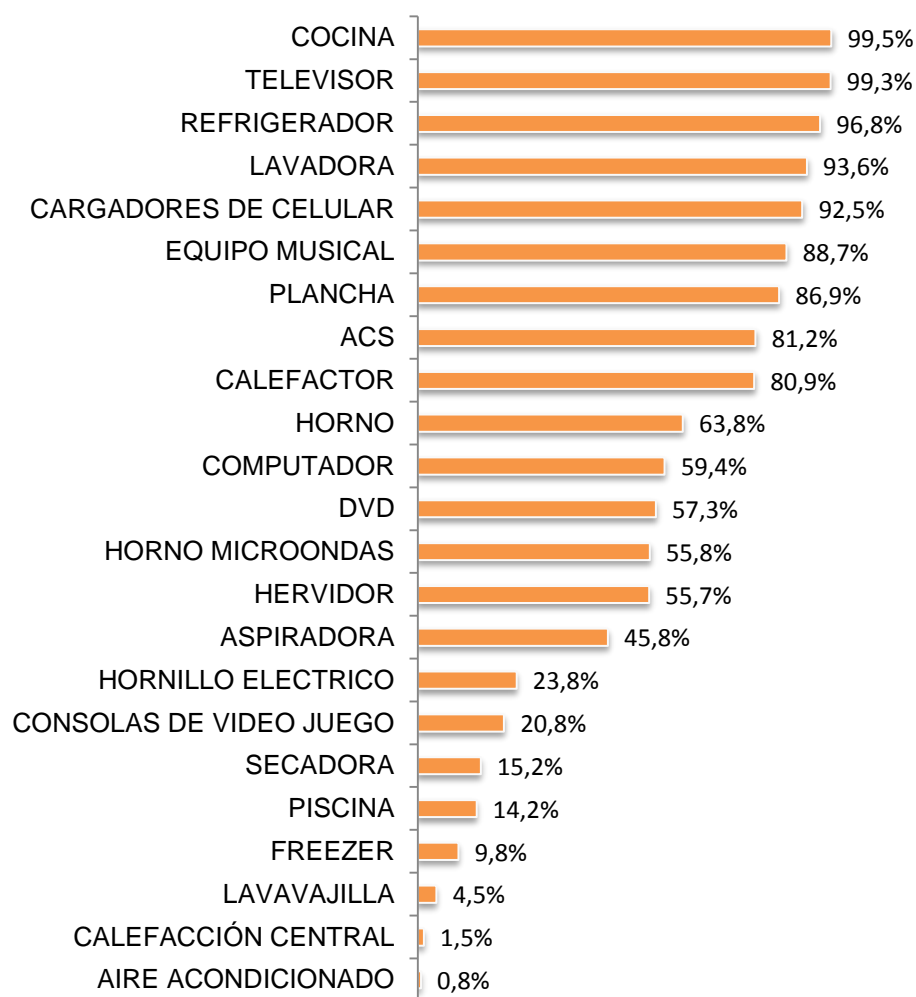


Ilustración 59: Tenencia de equipos en hogares chilenos (CDT, 2009).

Como conclusión, existe mucha información útil de este estudio debido al enfoque *bottom-up* utilizado, donde se encuentra bastante bien caracterizados los usos finales de la energía del sector residencial. Si bien el levantamiento de información se realizó el año 2009, los datos acerca de los hábitos de consumo (horas de uso, frecuencia), son válidos para caracterizar el año 2006, y se tendrán que realizar ajuste principalmente en la tenencia de equipos consumidores de energía, cuya tenencia pudo haber cambiado.

## 6.2 Anexo 2: Factores de conversión y de emisión

### 6.2.1 Factor de emisión de CO<sub>2</sub>e de combustibles

Tabla 32: Factores de emisión de combustibles.

Combustible	kgCO <sub>2</sub> e/TJ	Fuente
Carbón	96.797	IPCC 2006
Diesel	74.529	IPCC 2006
Gas Licuado	63.255	IPCC 2006
Gas Natural	56.255	IPCC 2006
Kerosene	71.929	IPCC 2006
Petróleo Combustible	77.829	IPCC 2006
Biomasa		

## 6.2.2 Poder calorífico de combustibles

Tabla 33: Poder calorífico de combustibles.Fuente: (CNE 2009).

Combustible	Unidad	Poder Calorífico
Petr. Crudo Nacional	kcal/Kg	10,963
Petr. Crudo Importado	kcal/Kg	10,860
Petr. Combustible 5	kcal/Kg	10,500
Petr. Combustible Ifo 180	kcal/Kg	10,500
Petr. Combustible 6	kcal/Kg	10,500
Nafta	kcal/Kg	11,500
Gas Licuado	kcal/Kg	12,100
Gasolina Automóviles	kcal/Kg	11,200
Gasolina Aviación	kcal/Kg	11,400
Kerosene Aviación	kcal/Kg	11,100
Kerosene	kcal/Kg	11,100
Diesel	kcal/Kg	10,900
Gas Natural Procesado	kcal/m3	9,341
Leña	kcal/Kg	3,500
Carbón	kcal/Kg	7,000
Coque	kcal/Kg	7,000
Biogás	kcal/m3	4,000
Gas De Refinería	kcal/m3	4,260
Electricidad	kcal/kWh	860

## 6.3 Anexo 3: Análisis de Interrupción del Suministro de GN de Argentina

A partir del año 2004, comenzó una seguidilla de cortes al suministro de gas natural proveniente de Argentina, llegando en algunos instantes a la total interrupción de este. Estos cortes repercutieron directamente en el consumo de esta fuente de energía, tal como se observa en la figura a continuación, debido a que principalmente es importado desde ese país.

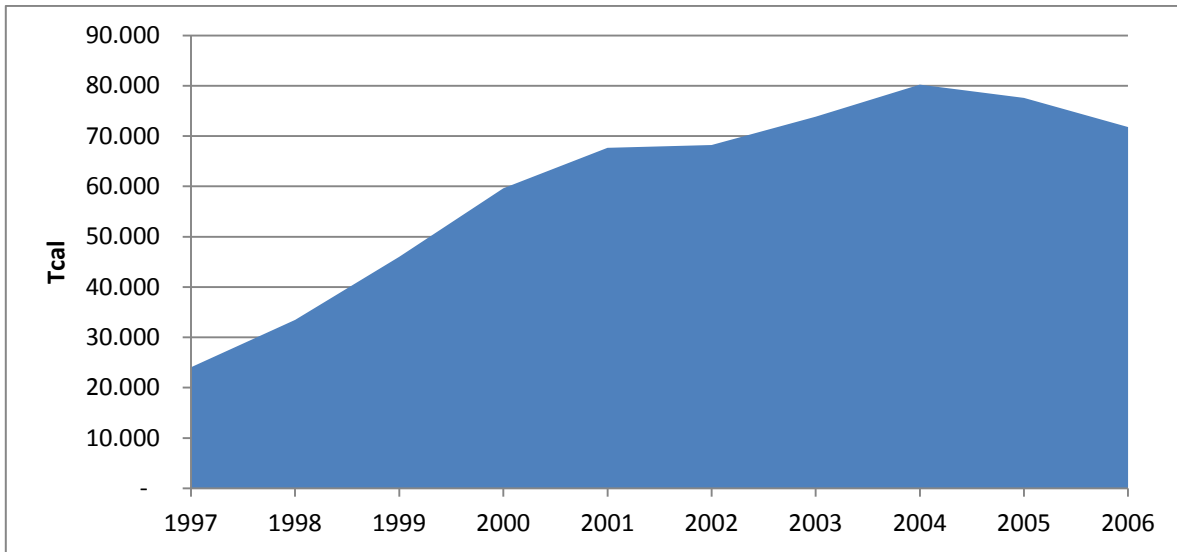


Ilustración 60: Serie de tiempo del consumo total de gas natural (Balance Nacional de Energía 1997-2006).

Pero si a su vez se analiza la evolución en el tiempo del consumo de este energético, pero por sector, en especial el Comercial, Público y Residencial, se aprecia un comportamiento distinto que a nivel total. Como se observa en la siguiente figura, el consumo de Gas Natural para el sector CPR presenta un aumento sostenido. Esto sucede principalmente a que la gran baja en el consumo total de Gas Natural, se debe en su mayor parte al sector de Generación de Energía Eléctrica.

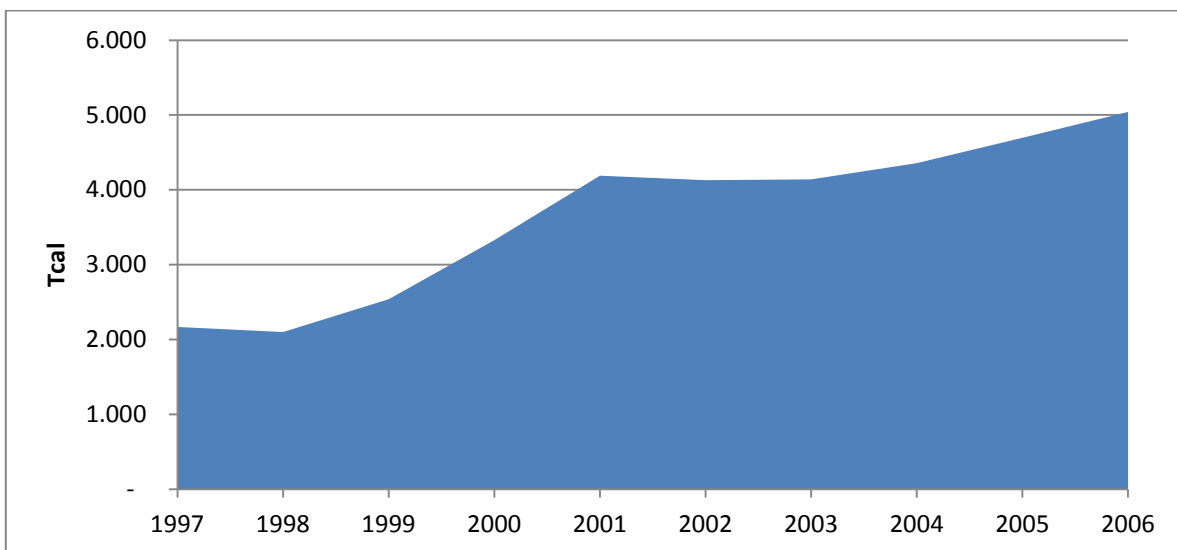


Ilustración 61: Serie de tiempo del consumo de gas natural en el sector CPR (Balance Nacional de Energía 1997-2006).

### 6.4 Anexo 4: Evolución del número de habitantes por vivienda de acuerdo al aumento del PIB

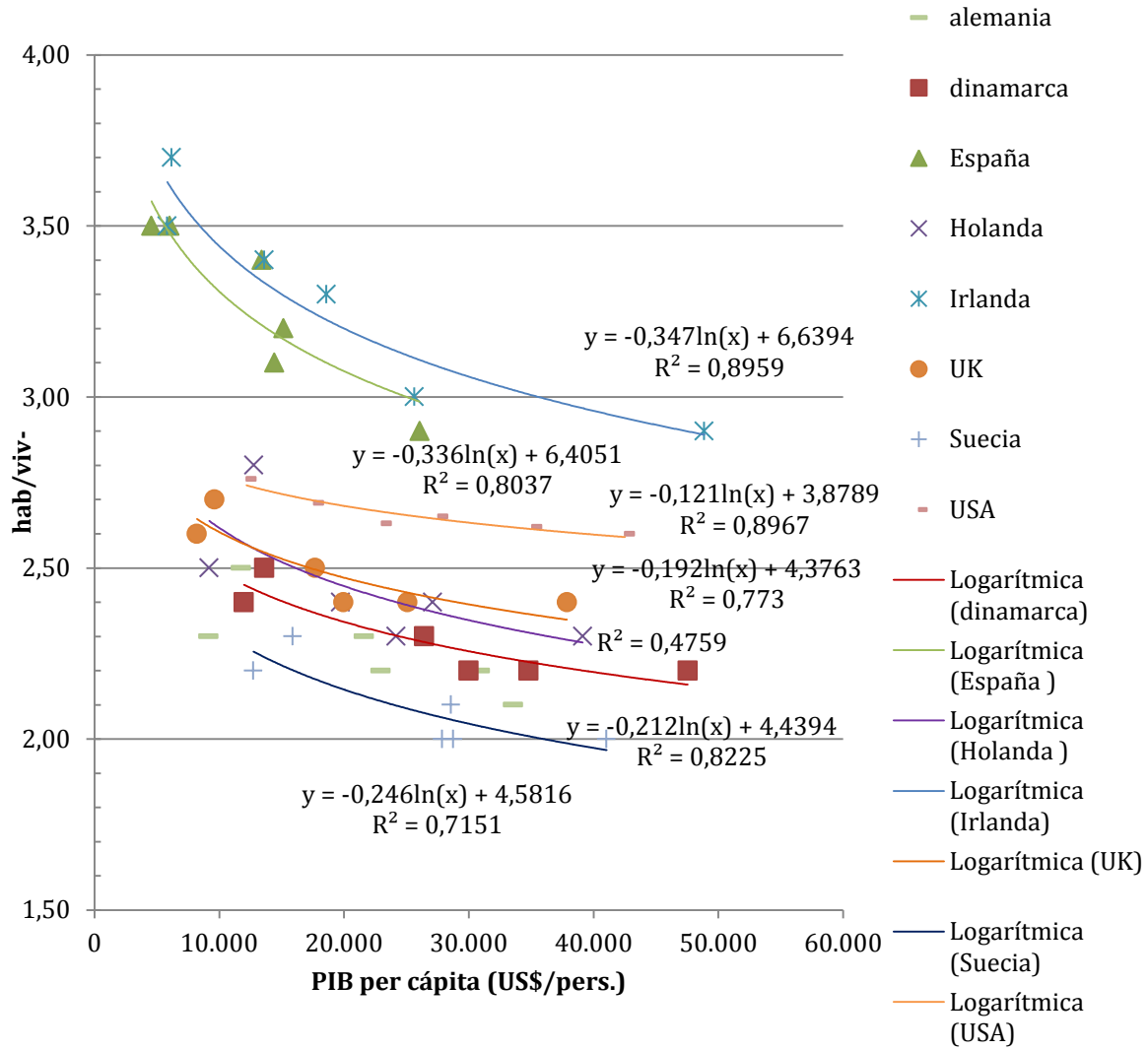


Ilustración 62: Evolución del número de habitantes por vivienda de acuerdo al PIB.

## 6.5 Anexo 5: Evolución del mix de combustibles de acuerdo a uso final

Tabla 34: Proyección Uso Calefacción Vivienda Existente Zona A.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
A	Urbano Depto.	Leña	2%	0%	0%	0%	0%	0%
		GLP	66%	62%	43%	44%	44%	44%
		GN	26%	26%	26%	26%	26%	26%
		Kerosene	6%	10%	20%	10%	10%	10%
		Electricidad	0%	1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	Leña	30%	22%	15%	15%	15%	15%
		GLP	56%	56%	51%	46%	43%	30%
		GN	9%	9%	9%	9%	15%	30%
		Kerosene	5%	12%	14%	10%	7%	5%
		Electricidad	0%	1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	Leña	89%	89%	89%	89%	89%	89%
		GLP	11%	7%	3%	3%	3%	3%
		GN	1%	1%	1%	1%	1%	1%
		Kerosene	0%	3%	3%	3%	3%	3%
		Electricidad	0%	1%	5%	5%	5%	5%

Tabla 35: Proyección Uso Calefacción Vivienda Existente Zona B.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
B	Urbano Depto.	Leña	2%	0%	0%	0%	0%	0%
		GLP	43%	40%	29%	20%	20%	16%
		GN	30%	30%	30%	30%	30%	42%
		Kerosene	25%	29%	30%	30%	30%	22%
		Electricidad	0%	1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	Leña	31%	27%	20%	20%	20%	20%
		GLP	40%	39%	41%	35%	26%	10%
		GN	5%	5%	5%	5%	23%	40%
		Kerosene	23%	27%	23%	20%	11%	10%
		Electricidad	0%	1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	Leña	81%	81%	81%	81%	81%	81%
		GLP	14%	14%	14%	14%	14%	14%
		GN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		Kerosene	5%	5%	5%	5%	5%	5%
		Electricidad						

Tabla 36: Proyección Uso Calefacción Vivienda Existente Zona C.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
C	Urbano Depto.	Leña	14%	6%	0%	0%	0%	0%
		GLP	29%	32%	32%	32%	27%	25%
		GN	33%	33%	33%	33%	38%	40%
		Kerosene	24%	28%	25%	25%	25%	25%
		Electricidad	0%	1%	10%	10%	10%	10%
	Urbano Casa	Leña	74%	66%	50%	50%	50%	50%
		GLP	20%	16%	10%	10%	7%	6%
		GN	22%	22%	22%	22%	28%	30%
		Kerosene	17%	17%	12%	12%	9%	8%
		Electricidad	0%	1%	6%	6%	6%	6%
	Rural Casa	Leña	99%	100%	100%	100%	100%	100%
		GLP	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		GN	1%	0%	0%	0%	0%	0%
		Kerosene	0%					
		Electricidad	0%					

Tabla 37: Proyección Uso Calefacción Vivienda Nueva Zona A.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
A	Urbano Depto.	Leña	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		GLP	59%	42%	34%	30%	30%	59%
		GN	29%	35%	35%	35%	35%	29%
		Kerosene	10%	12%	10%	10%	10%	10%
		Electricidad	1%	11%	21%	25%	25%	1%
	Urbano Casa	Leña	14%	10%	10%	10%	10%	14%
		GLP	58%	49%	45%	42%	40%	58%
		GN	15%	15%	15%	18%	25%	15%
		Kerosene	12%	15%	10%	10%	5%	12%
		Electricidad	1%	11%	20%	20%	20%	1%
	Rural Casa	Leña	89%	89%	89%	89%	89%	89%
		GLP	7%	3%	3%	3%	3%	7%
		GN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		Kerosene	3%	3%	3%	3%	3%	3%
		Electricidad	1%	5%	5%	5%	5%	1%

Tabla 38: Proyección Uso Calefacción Vivienda Nueva Zona B.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
B	Urbano Depto.	Leña	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		GLP	32%	11%	12%	15%	15%	32%
		GN	38%	45%	45%	45%	45%	38%
		Kerosene	29%	33%	23%	20%	20%	29%
		Electricidad	1%	11%	20%	20%	20%	1%
	Urbano Casa	Leña	27%	20%	20%	20%	20%	27%
		GLP	26%	20%	20%	15%	13%	26%
		GN	18%	25%	25%	35%	40%	18%
		Kerosene	27%	25%	25%	20%	17%	27%
		Electricidad	1%	10%	10%	10%	10%	1%
	Rural Casa	Leña	80%	80%	80%	80%	80%	80%
		GLP	14%	10%	10%	10%	10%	14%
		GN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		Kerosene	5%	5%	5%	5%	5%	5%
		Electricidad	1%	5%	5%	5%	5%	1%

Tabla 39: Proyección Uso Calefacción Vivienda Nueva Zona C.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
C	Urbano Depto.	Leña	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		GLP	38%	32%	32%	27%	25%	38%
		GN	33%	33%	33%	38%	40%	33%
		Kerosene	28%	25%	25%	25%	25%	28%
		Electricidad	1%	10%	10%	10%	10%	1%
	Urbano Casa	Leña	52%	50%	50%	50%	50%	52%
		GLP	8%	7%	11%	6%	8%	8%
		GN	22%	22%	22%	28%	30%	22%
		Kerosene	17%	14%	10%	9%	5%	17%
		Electricidad	1%	7%	7%	7%	7%	1%
	Rural Casa	Leña	97%	87%	80%	80%	80%	97%
		GLP	3%	13%	20%	20%	20%	3%
		GN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		Kerosene						
		Electricidad						

Tabla 40: Proyección Uso ACS Zona A.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
A	Urbano Depto.	Leña						
		GLP	86%	81%	61%	45%	45%	45%
		GN	14%	18%	28%	35%	35%	35%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	Leña						
		GLP	93%	89%	79%	69%	65%	55%
		GN	7%	10%	10%	11%	15%	25%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	Leña						
		GLP	100%	99%	89%	80%	80%	80%
		GN		0%	0%	0%	0%	0%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%

Tabla 41: Proyección Uso ACS Zona B.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
B	Urbano Depto.	Leña						
		GLP	65%	60%	44%	35%	35%	27%
		GN	35%	39%	45%	45%	45%	53%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	Leña						
		GLP	92%	87%	70%	70%	61%	47%
		GN	8%	12%	20%	20%	29%	43%
		Electricidad		1%	10%	10%	10%	10%
	Rural Casa	Leña						
		GLP	99,7%	99%	90%	90%	90%	90%
		GN	0,3%	0%	0%	0%	0%	0%
		Electricidad		1%	10%	10%	10%	10%

Tabla 42: Proyección Uso ACS Zona C.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
C	Urbano Depto.	Leña						
		GLP	76%	71%	59%	50%	46%	36%
		GN	24%	28%	30%	30%	34%	44%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	Leña						
		GLP	60%	55%	44%	35%	30%	30%
		GN	40%	44%	45%	45%	50%	50%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	Leña						
		GLP	92%	91%	81%	72%	72%	72%
		GN	8%	8%	8%	8%	8%	8%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%

Tabla 43: Proyección Uso Cocina Zona A.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
A	Urbano Depto.	GLP	88%	83%	63%	45%	45%	45%
		GN	12%	16%	26%	35%	35%	35%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	GLP	95%	90%	79%	69%	65%	55%
		GN	5%	9%	10%	11%	15%	25%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	GLP	100%	99%	89%	80%	80%	80%
		GN		0%	0%	0%	0%	0%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%

Tabla 44: Proyección Uso Cocina Zona B.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
B	Urbano Depto.	GLP	70%	65%	45%	35%	35%	27%
		GN	30%	34%	44%	45%	45%	53%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	GLP	94%	89%	70%	61%	52%	38%
		GN	6%	10%	19%	19%	28%	42%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	GLP	99,9%	99%	90%	90%	90%	90%
		GN	0,1%	0%	0%	0%	0%	0%
		Electricidad		1%	10%	10%	10%	10%

Tabla 45: Proyección Uso Cocina Zona C.

Zona Térmica	Tipo	Combustible	2006	2010	2020	2030	2040	2050
C	Urbano Depto.	GLP	77%	72%	59%	50%	46%	36%
		GN	23%	27%	30%	30%	34%	44%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Urbano Casa	GLP	76%	71%	51%	35%	30%	30%
		GN	24%	28%	38%	45%	50%	50%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%
	Rural Casa	GLP	98%	97%	87%	78%	78%	78%
		GN	2%	2%	2%	2%	2%	2%
		Electricidad		1%	11%	20%	20%	20%

A continuación se presenta la estimación de ahorros para calefacción que gatillan decisiones de cambio de combustible en vivienda existente (viviendas sin RT), en \$/año.

**Tabla 46: Estimación ahorro para calefacción viviendas existentes sin RT (\$/año).**

Zona	Tipo	Ahorro	2006	2010	2020	2030	2035	2040	2045	2050
A	Urbano Depto.	Respecto al GLP	-9.158	-7.740	-2.933	6.915	13.810	19.970	27.207	35.709
A	Urbano Depto.	Respecto al Kerosene	23.911	18.703	15.313	11.912	9.545	17.678	27.231	38.453
A	Urbano Casa	Respecto al GLP	-9.158	-10.693	-2.033	43.933	85.716	123.956	168.876	221.644
A	Urbano Casa	Respecto al Kerosene	23.911	8.494	-5.327	23.356	59.248	109.726	169.021	238.676
A	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	33.068	26.443	18.246	4.997	-4.264	-2.293	23	2.744
B	Urbano Depto.	Respecto al GLP	-101.669	-85.508	-49.534	8.321	45.290	65.495	89.230	117.111
B	Urbano Depto.	Respecto al Kerosene	-123.655	-108.856	-74.727	-11.664	31.305	57.976	89.306	126.110
B	Urbano Casa	Respecto al GLP	-101.669	-91.604	-47.676	84.736	193.724	280.149	381.670	500.929
B	Urbano Casa	Respecto al Kerosene	-123.655	-129.931	-117.334	11.961	133.903	247.987	381.998	539.423
B	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	-21.986	-38.327	-69.658	-72.776	-59.821	-32.162	327	38.493
C	Urbano Depto	GLP respecto al kerosene	-9.009	-17.356	-31.956	-34.297	-29.262	-15.732	160	18.829
C	Urbano Casa	GLP respecto al kerosene	-9.009	-45.650	-115.946	-134.013	-115.840	-62.281	634	74.541
C	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	-9.009	-45.650	-115.946	-134.013	-115.840	-62.281	634	74.541

Estimación de ahorros para calefacción que gatillan decisiones de cambio de combustible en vivienda existente (viviendas con RT), en \$/año.

Tabla 47: Estimación ahorro para calefacción viviendas existentes con RT (\$/año).

Zona	Tipo	Ahorro	2006	2010	2020	2030	2035	2040	2045	2050
A	Urbano Depto.	Respecto al GLP	-9.158	-7.702	-2.945	6.442	12.891	18.642	25.397	33.333
A	Urbano Depto.	Respecto al Kerosene	23.911	18.833	15.577	11.765	8.910	16.501	25.419	35.894
A	Urbano Casa	Respecto al GLP	-9.158	-9.784	-2.310	32.544	63.594	91.965	125.292	164.441
A	Urbano Casa	Respecto al Kerosene	23.911	11.635	1.023	19.835	43.957	81.407	125.399	177.078
A	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	33.068	26.535	18.522	5.324	-3.981	-2.140	22	2.561
B	Urbano Depto.	Respecto al GLP	-101.669	-85.208	-49.625	4.565	37.993	54.943	74.854	98.243
B	Urbano Depto.	Respecto al Kerosene	-123.655	-107.820	-72.632	-12.825	26.261	48.636	74.918	105.792
B	Urbano Casa	Respecto al GLP	-101.669	-88.191	-48.716	41.957	110.626	159.980	217.953	286.057
B	Urbano Casa	Respecto al Kerosene	-123.655	-118.133	-93.481	-1.265	76.466	141.613	218.140	308.038
B	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	-21.986	-29.942	-44.765	-43.222	-34.161	-18.366	187	21.982
C	Urbano Depto	GLP respecto al kerosene	-9.009	-13.775	-21.324	-21.675	-18.303	-9.840	100	11.778
C	Urbano Casa	GLP respecto al kerosene	-9.009	-22.717	-47.869	-53.190	-45.666	-24.552	250	29.385
C	Rural Casa	GLP respecto al kerosene	-9.009	-22.717	-47.869	-53.190	-45.666	-24.552	250	29.385

## 6.6 Anexo 6: Estudios post 2006 utilizados solo de forma indicativa

A continuación se presentan dos Informes que van en la línea de la caracterización de los sectores Comercial y Público, pero que aún así resultan ser insuficientes para la caracterización total de este sector por uso final y comportamientos energéticos. Además, estos informes son posteriores al año 2006, por lo que no fueron incluidos en la línea base correspondiente a este estudio.

### 6.6.1 Estudio caracterización del sector retail

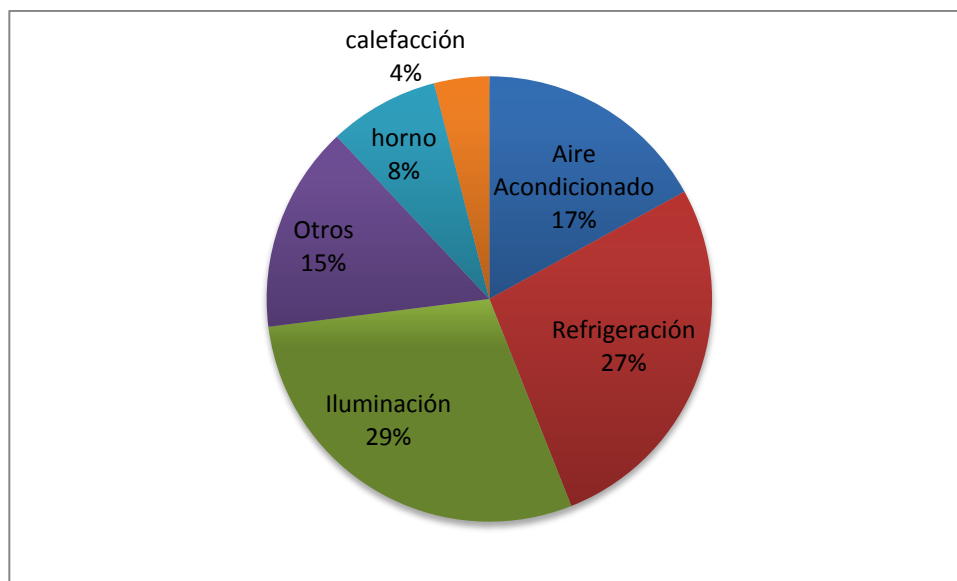
Este estudio fue realizado en coordinación con la Mesa del Retail para la Comisión Nacional de Energía (GAMMA, 2009). El estudio caracterizó el consumo energético de distintas tiendas, pero sólo las que respondieron una encuesta. En donde el 28% de los supermercados respondieron la encuesta, y su consumo combinado representa el 10% del consumo energético eléctrico del sector comercial. Por otro lado, 55% de los centros comerciales respondieron a la encuesta. No pareciera

ser razonable usar el estudio para estimar consumos absolutos del sector, pero sí nos permite caracterizar los usos finales de energía.

En particular en la Ilustración 63 podemos observar que gran parte del consumo energético de supermercados es en la forma de consumo eléctrico (refrigeración, aire acondicionado, iluminación y otros, sumando un 88%) y el resto asociado a combustibles (4% en calefacción, aunque probablemente también sea eléctrica, 8% en hornos).

La Ilustración 64 muestra que los combustibles se usan mayoritariamente para hornos y cocinas, y en mucho menor medida en calefacción. También se utiliza para agua caliente sanitaria. El mismo estudio estima que 89% del consumo energético es en la forma de electricidad, mientras que el 11% en forma de combustibles, es decir, es más intenso en el uso de la electricidad.

Los centros comerciales en cambio son incluso más intensivos en el uso de la energía eléctrica, que representa 99% del consumo energético de estos. La Ilustración 65 muestra que 87% del consumo eléctrico se usa en iluminación y aire acondicionado. En mucho menor medida se consume energía en Fuerza motriz (ascensores, escaleras), 6% en otros (*plugloads*) y en menor medida calefacción.



**Ilustración 63: Porcentaje de uso de energía en usos finales para supermercados de acuerdo a estudio de caracterización de consumos de retail(GAMMA, 2009).**

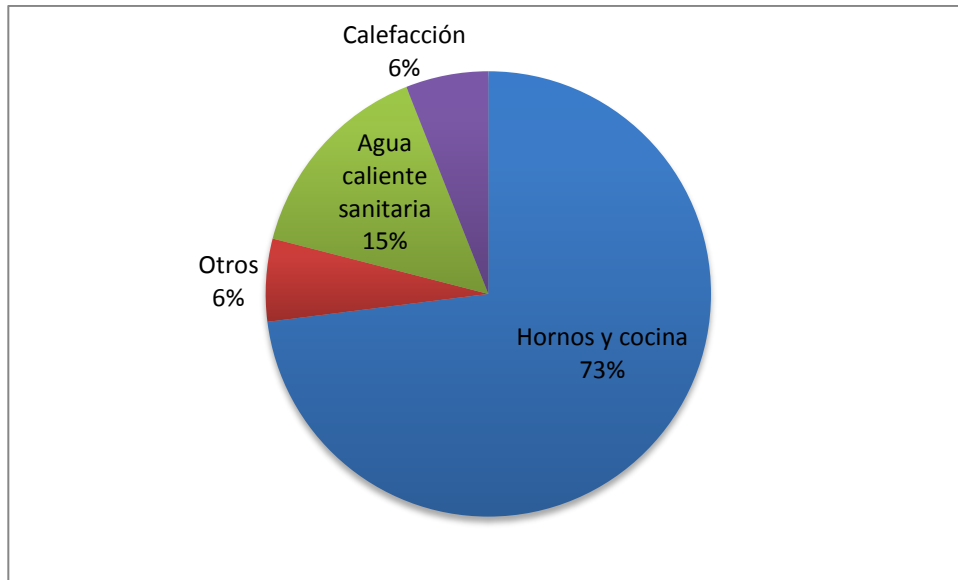


Ilustración 64: Porcentaje de uso de energía en forma de combustibles para supermercados, de acuerdo de estudio de caracterización de consumos del retail (GAMMA, 2009).

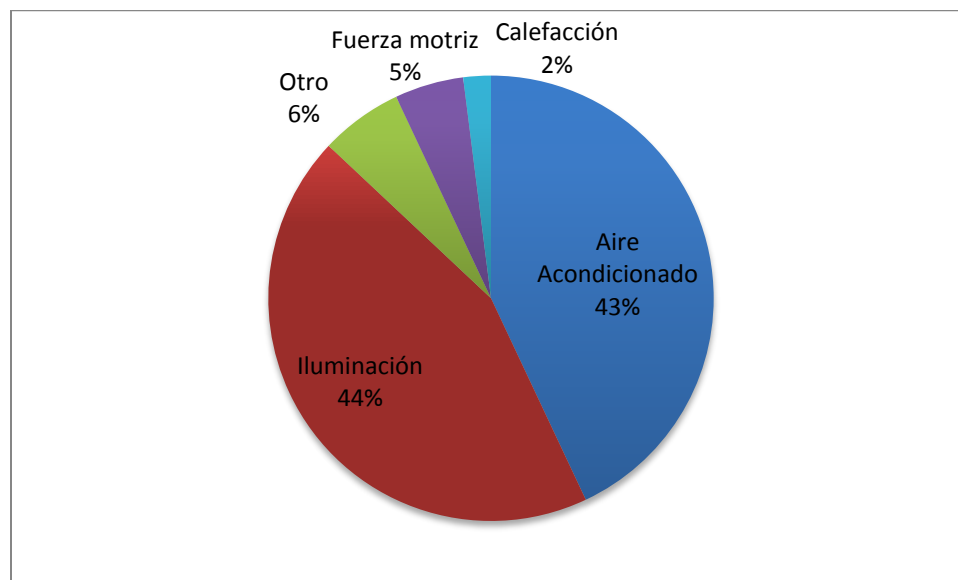


Ilustración 65: Porcentaje de uso de energía eléctrica por uso final (GAMMA, 2009).

### 6.6.2 Estudio caracterización centros asistenciales

El estudio (IDIEM, 2010) para Centros Asistenciales se realizó en forma de encuesta. Se observa que el tipo de consumo energético de un hospital es muy similar al sector doméstico, con una gran cantidad de energía gastada en agua caliente sanitaria y calefacción (43% combinado) (Ilustración 66). Este estudio caracterizó los usos finales de energía en los hospitales en función de la zona térmica. Esta información solo se usará a modo de referencia.

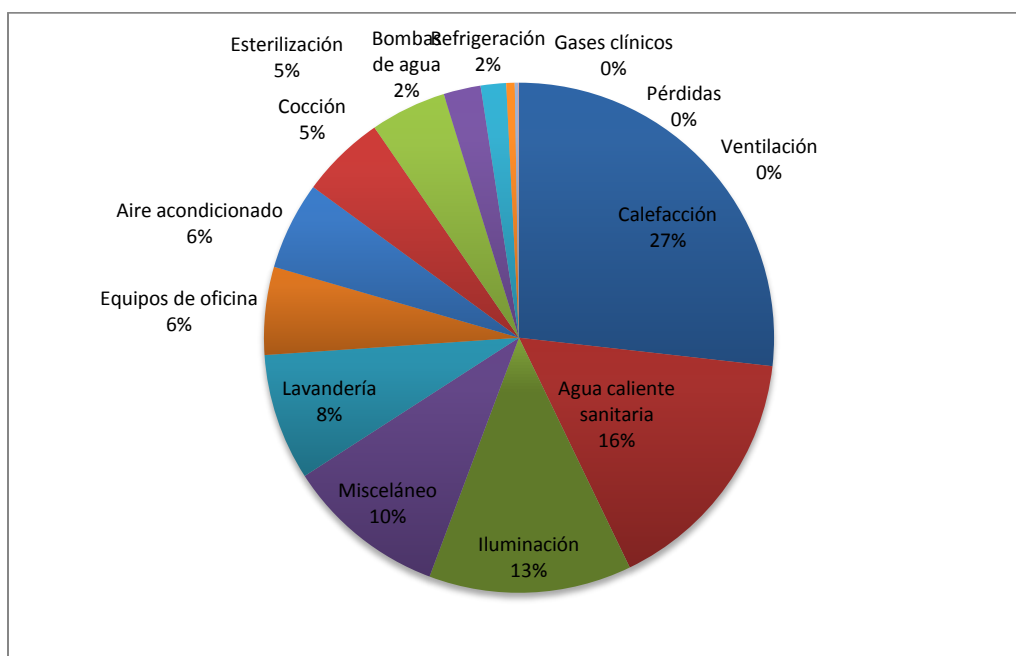


Ilustración 66: Porcentaje de uso de energía primaria en centros asistenciales de Chile (IDIEM, 2010).

## 6.7 Anexo 7: Datos de población 2021-2050

En la sección de variables explicativas, se describió la metodología utilizada para primero generar las tasas de crecimiento poblacional por región, y luego para empalmar las tendencias de proyecciones regionales, con el total de la población país proyectado hacia el 2050 según el estudio (INE-CEPAL, 2005).

Al analizar las proyecciones de población por región, se observó el carácter escalonado de las tasas de crecimiento en tramos de cada cinco años. Habiendo observado aquel patrón, posteriormente se realizó diferentes tipos de regresiones desde el 2016 al 2020 (el último escalón), buscando

aquella regresión en la cual el residuo entre la suma de población regional y las cifras de población total hacia el 2050, según datos de INE-CEPAL (2005), fuese la menor. De esta manera se seleccionó una regresión cuadrática para proyectar los datos. Luego, y como se explicó en la sección de variables explicativas, los residuos de estas regresiones se distribuyeron proporcionalmente, iterando este proceso hasta alcanzar una diferencia igual a cero.

Al comparar los resultados obtenidos con los resultados proporcionados por la contraparte técnica de MAPS, se observa que la diferencia porcentual entre la distribución regional proporcionada por la contraparte y el total proyectado por el INE –CEPAL (2005) hacia el 2050 alcanza el 2%. En términos de viviendas, la diferencia también alcanza el 2% al 2050 entre las cifras proporcionadas por la contraparte y las estimadas por el equipo CPR.

Comparando las cifras de ambas proyecciones de viviendas por región, se puede observar las siguientes diferencias (en términos absolutos) al utilizar los cálculos propios versus los proporcionados:

**Tabla 48: Diferencias porcentuales de las distintas proyecciones de viviendas por región.**

Región	2021	2030	2040	2050
Tarapacá, Arica y Parinacota	0%	2%	1%	2%
Antofagasta	0%	2%	1%	1%
Atacama	0%	2%	5%	11%
Coquimbo	0%	2%	1%	4%
Valparaíso	0%	2%	1%	0%
Metropolitana de Santiago	0%	3%	3%	2%
Libertador General Bernardo O'Higgins	0%	2%	2%	3%
Del Maule	0%	1%	1%	0%
Del Biobío	0%	3%	5%	7%
La Araucanía	0%	2%	3%	5%
Los Lagos y Los Ríos	0%	2%	2%	1%
Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo	0%	2%	6%	17%
Magallanes y de La Antártica Chilena	0%	1%	5%	6%

Bajo la consideración de estas cifras, se estima que muy probablemente el ajuste tendrá un aumento muy marginal de emisiones de CO<sub>2</sub>, el cual podrá ser en torno al 2%.