



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**"ANÁLISIS Y MONITOREO PARA LA GESTIÓN
ESTRATÉGICA DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN CHILE MEDIANTE MÉTODOS DE
DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES"**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
INDUSTRIAL

NICOLÁS IGNACIO TORO SALAZAR

PROFESOR GUÍA:
JACQUES CLERC PARADA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JAIME ALEÉ GIL
ORLANDO CASTILLO ESPINOZA

SANTIAGO DE CHILE
2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: NICOLÁS TORO SALAZAR
FECHA: 3/3/2016
PROFESOR GUÍA: JACQUES CLERC ESPINOZA**

"ANÁLISIS Y MONITOREO PARA LA GESTIÓN ESTRATÉGICA DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE MEDIANTE MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES"

Uno de los principales desafíos a nivel mundial en la actualidad, es el poder generar las condiciones adecuadas para un desarrollo energético sostenido en el tiempo, tanto desde un punto de vista económico, como tecnológico y social. Tomando en consideración que el crecimiento se relaciona a un aumento en la demanda energética, es importante encontrar formas para poder aumentar la eficiencia en el consumo, es por esto que Chile crea el PNAEE 2020 y la Ley de Eficiencia Energética, entre otras medidas que buscan empoderar más al sector público en la materia y poder mejorar el acceso de los distintos actores al sistema.

Este informe presenta los detalles principales de una serie de metodologías utilizadas por algunos países de la OCDE para monitorear la evolución del consumo de energía, y de este modo tener una guía para poder enfocar los esfuerzos y gestionar estrategias futuras, es decir, permiten evaluar la eficiencia energética. Se denominan como Métodos de Descomposición por Índices.

El objetivo principal de este trabajo es poder aplicar para la base de datos de Chile, uno de los Métodos de Descomposición junto con algunas extensiones, y de esta forma obtener análisis con respecto a cómo se han ido moviendo los diferentes sectores.

Posterior a esto se realiza un análisis económico de cada sector presente en el PIB, además se describen las principales propuestas de Chile en materia de eficiencia energética, como lo son la Agenda de Energía y el Plan País de Eficiencia Energética.

Se espera que el lector pueda interiorizarse en los análisis, así como tomar la importancia que tiene la existencia de metodologías como la presentada en la presente tesis, que permiten llevar a un plano diferente la información relacionada al consumo energético.

*Siempre has estado ahí para mí, a pesar
de todas las dificultades que hemos tenido que pasar
y sé que siempre lo estarás como yo para ti,
Así que todo lo que logré durante mi carrera
y este trabajo es para ti.
TE AMO MUCHO MAMÁ*

AGRADECIMIENTOS

En este proceso, que culmina con la defensa de mi tesis y la obtención del título de ingeniero civil industrial, albergo sentimientos de gratitud por aquellas personas, amigos y familiares que me apoyaron y alentaron en todo momento durante los seis años de mi carrera, no obstante no puedo dejar de citar a mi mamá Raquel Salazar por apoyarme incondicionalmente desde mi infancia hasta el día de hoy en todo sentido, siendo un apoyo vital para mi desarrollo tanto profesional como personal. También a Pablo Russel, quien siempre está dispuesto para darme un consejo amigable y a ayudar no solo en el ámbito académico sino que también personal. A mis tíos, Carlos Salazar y Gabriela Salazar por escucharme durante el proceso del cambio de la universidad al laboral y por estar siempre dispuestos a apoyarme en mis decisiones con un buen consejo, a mi profesor guía Jacques Clerc, quien confió en mí y en mis capacidades para poder sacar adelante esta tesis y estuvo presente durante todo el proceso, brindándome el apoyo necesario para poder obtener muy buenos resultados, a mi madrina la "tía Nana", mi prima María Gabriela y mi tío Patricio Díaz por estar presentes y apoyarme durante todo el ciclo que he podido llevar a cabo ya sea en la universidad como en el colegio.

Y finalmente a mis Abuelos, Víctor y Raquel que estoy seguro en algún lugar del cielo me estarán observando, celebrando orgullosos y acompañándome en las buenas y en las malas como siempre lo he sentido. Espero poder ser un gran ingeniero y que sigan conmigo en mi camino.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE APÉNDICES	x
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCES.....	2
1.4 METODOLOGÍA	2
1.4.1 ETAPA 1: ANÁLISIS Y VALIDACIÓN	3
1.4.2 ETAPA 2: OBTENCIÓN DE DATOS.....	3
1.4.3 ETAPA 3: TRABAJO DE DATOS	4
1.4.4 ETAPA 4: ANÁLISIS Y REDACCIÓN	4
2 METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES Y SUS CLASIFICACIONES.....	4
3 MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	6
3.1 DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA BASE	7
4 MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES	8
4.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS:	8
4.2 DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA	9
4.3 DESCOMPOSICIÓN ADITIVA	9
5 ÍNDICE DE LASPEYRES.....	10
5.1 FÓRMULA DE LASPEYRES	10
5.1.1 DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA	11
5.1.2 DESCOMPOSICIÓN ADITIVA	11
5.2 LASPEYRES REFINADO	12
6 ÍNDICE DE DIVISIA	12
6.1 ÍNDICE DE MEDIAS ARITMÉTICAS DE DIVISIA (AMDI).....	12

6.2	ÍNDICE DE MEDIAS LOGARÍTMICAS DE DIVISIA (LMDI I)	14
6.2.1	VERSIÓN CONTINUA.....	14
6.2.2	VERSIÓN DISCRETA	16
7	COMPARACIÓN DE ÍNDICES	18
8	TIPO DE DESCOMPOSICIÓN: MULTIPLICATIVA O ADITIVA.....	19
9	ELECCIÓN DE ÍNDICE	19
10	ÍNDICE DE DIVISIA: INDUSTRIA ENERGÉTICA DE CHILE	20
10.1	CONTEXTO PAÍS.....	21
10.1.1	PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA .	21
10.1.2	AGENDA DE ENERGÍA	24
10.2	METODOLOGÍA	28
10.2.1	FUNCIÓN OBJETIVO Y EFECTOS: DIVISIA ESTÁNDAR	29
10.3	FORMATO DE LA INFORMACIÓN Y TRABAJO DE LOS DATOS	30
10.3.1	PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)	30
10.3.2	BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA (BNE)	32
11	ANÁLISIS Y RESULTADOS	34
11.1	ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ECONÓMICA POR SECTOR.....	34
11.2	ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA CHILENA	49
11.2.1	PERÍODOS DE EVALUACIÓN: ANTECEDENTES IMPORTANTES	
	51	
11.3	DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA: ÍNDICE DE DIVISIA ESTÁNDAR	
	53	
11.3.1	EFFECTO ACTIVIDAD.....	55
11.3.2	EFFECTO DE ESTRUCTURA.....	58
11.3.3	EFFECTO DE INTENSIDAD.....	61
11.4	DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA EXTENSIONES: ÍNDICE DE	
	DIVISIA, SECTORES DESCOMPRIMIDOS	66
11.4.1	INDUSTRIA Y MINERÍA.....	66
11.4.2	COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL	70
11.4.3	SECTOR TRANSPORTE	73

11.5	DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA EXTENSIONES: ÍNDICE DE DIVISIA SEGÚN COMBUSTIBLES.....	75
11.5.1	CONVERSIÓN DE DATOS.....	75
11.5.2	ANÁLISIS Y RESULTADOS	78
12	CONCLUSIONES	86
13	RECOMENDACIONES PARA POSTERIORES ANÁLISIS	89
14	GLOSARIO	90
	PREFIJOS DE UNIDADES.....	90
	UNIDADES DE ENERGÍA.....	91
	DEFINICIONES	91
	ABREVIATURAS	93
15	BIBLIOGRAFÍA.....	95
16	ANEXOS	100
17	APÉNDICES.....	111
18	ÁREAS DE APLICACIÓN	111
18.1	DEMANDA Y OFERTA ENERGÉTICA	111
18.2	EMISIONES DE GAS RELACIONADAS A ENERGÍA.....	111
18.3	FLUJOS DE MATERIAL Y DESMATERIALIZACIÓN.....	112
18.4	MONITOREO DE LAS TENDENCIAS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA NACIONAL	112
18.5	COMPARACIONES ENTRE PAÍSES	112
18.5.1	TEST DE REVERSIÓN DE TIEMPO (TIME-REVERSAL TEST)	113
18.5.2	TEST DE REVERSIÓN DE FACTORES (FACTOR-REVERSAL TEST)	113
18.5.3	TEST CIRCULAR (CIRCULAR TEST)	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación métodos de descomposición	18
Tabla 2. Evolución del PIB de Chile entre 1998 y 2013	48
Tabla 3. Evolución del consumo energético entre 1998 y 2013	49
Tabla 4. Evolución del precio de importación del gas argentino 2000 - 2008.....	55
Tabla 5. Participación de los sub sectores en el PIB total, 1998 - 2004	58
Tabla 6. Participación de los sub sectores en el PIB total, 2004 - 2008	59
Tabla 7. Participación de los sub sectores en el PIB total 2008 - 2013.	60
Tabla 8. Consumo y Producción, 1998 - 2004.....	62
Tabla 9. Consumo y Producción, 2004 - 2008.....	63
Tabla 10. Consumo y Producción, 2008 - 2013.....	64
Tabla 11. Crecimiento porcentual Consumo y Producción	65
Tabla 12. Asociación PIB - Consumo Energético.....	66
Tabla 13. Factores de Emisión Aproximados por combustibles	78
Tabla 14. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO ₂ , 1998 - 2004: Descomposición aditiva (TCO ₂)	82
Tabla 15. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO ₂ , 2004 - 2008: Descomposición aditiva (TCO ₂)	82
Tabla 16. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO ₂ , 2008 - 2013: Descomposición aditiva (TCO ₂)	83
Tabla 17. Matriz propuesta de datos	90
Tabla 18. Propiedades de los métodos de Descomposición por índices	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodologías Existentes	5
Figura 2. Proyección Consumo de Energía 2020.....	22
Figura 3. PIB nominal vs PIB a precio constante	32
Figura 4. PIB por sector económico con año base 2008	35
Figura 5. PIB sector Industria y Minería	36
Figura 6. PIB sub sector Agropecuario - Silvícola	37
Figura 7. PIB sub sector Pesca	38
Figura 8. PIB sub sector Minería	39
Figura 9. PIB sub sector Industria Manufacturera.....	40
Figura 10. PIB sub sector Electricidad, Gas y Agua.....	41
Figura 11. PIB sub sector Construcción.....	42
Figura 12. PIB sector Comercial, Público y Residencial.....	43

Figura 13. PIB sub sector Comercio, Restaurantes y Hoteles	44
Figura 14. PIB sub sector Comunicaciones	45
Figura 15. PIB Servicios y Administración Pública	46
Figura 16. PIB sector Transporte	47
Figura 17. Curvas PIB - Crecimiento del consumo energético en Chile .50	
Figura 18. Curvas PIB - Crecimiento del consumo energético OCDE	51
Figura 19. Resultados de la descomposición aditiva de los cambios en el consumo energético, incluyendo sector Transporte, CPR e Industria y Minería.....	54
Figura 20. Resultados de la descomposición aditiva de cambios en el consumo energético para el sector Industria y Minería	67
Figura 21. Consumo Final Total por sector	69
Figura 22. Intensidad Energética, sector Industria y Minería, 1990 - 2007.....	70
Figura 23. Resultados de la descomposición aditiva de cambios en el consumo energético, sector Comercial, Público y Residencial	72
Figura 24. Intensidad Energética sector Comercial, Público y Residencial, 1990 - 2007	73
Figura 25. Intensidad Energética sector Transporte, 1990 - 2007	74
Figura 26. Factores de Emisión estacionarios parte I.....	76
Figura 27. Factores de Emisión estacionarios parte II.....	77
Figura 28. Demanda y Producción de combustibles en Chile, 2012.....	79
Figura 29. Distribución del consumo de combustibles en sector Transporte.....	80
Figura 30. Distribución del consumo de combustibles en sector Industria y Minería	81
Figura 31. Distribución del consumo de combustibles en sector Comercial, Público y Residencial	82
Figura 32. Resultados de la descomposición aditiva de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería	83
Figura 33. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 1998 - 2004	84
Figura 34. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 2004 - 2008	85

Figura 35. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 2010 - 2013 85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fórmulas de métodos ID en forma multiplicativa, basados en la ecuación (1)	100
Anexo 2. Fórmulas de métodos ID en forma aditiva, basados en la ecuación (1)	101
Anexo 3. Fórmulas para la descomposición de cambios en el consumo energético	101
Anexo 4. Fórmulas para la descomposición de cambios en términos de emisiones de CO2 relacionadas a energía en el consumo energético .	102
Anexo 5. Tabla de conversión de unidades energéticas internacionales	102
Anexo 6. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 1998 - 2002.....	103
Anexo 7. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 2003 - 2007.....	104
Anexo 8. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 2008 - 2013.....	105
Anexo 9. Consumo energético por sector, 1998 - 2005 (Tcal)	106
Anexo 10. Consumo energético por sector, 2005 - 2013 (Tcal).....	107
Anexo 11. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 1998 - 2004	108
Anexo 12. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 2005 - 2009	109
Anexo 13. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 2010 - 2013	110

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Áreas de Aplicación ID	111
Apéndice 2. Test de Propiedades Deseables	113
Apéndice 3. Extensión LMDI Sector Industrial	114
Apéndice 4. Extensión LMDI sector Transporte	115
Apéndice 5. Extensión LMDI sector Comercial, Público y Residencial .	116

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que mayor contingencia ha generado en la última década es la escasez de eficiencia energética, y el poder identificar nuevas fuentes de consumo. Junto a esto se encuentran los altos precios de la energía como la electricidad y el petróleo, teniendo que buscar alternativas a los combustibles y motivando a optimizar el consumo energético.

Actualmente los países de la OCDE¹ presentan sistemas de generación energética bastante eficientes, los cuales han permitido desacoplar las curvas de consumo energético de la de crecimiento económico, sin embargo para poder mantener un análisis constante de la evolución en el consumo final, cuentan con una serie de métricas importantes que permiten realizar un monitoreo a los datos recopilados para cada país.

Es en este punto donde se encuentra el principal valor de la presente tesis, dado que Chile no posee métricas robustas en materia de eficiencia energética, se plantea una metodología denominada Descomposición por Índices (ID) que permite, a grandes rasgos, descomponer el consumo energético en diferentes efectos (intensidad, estructura, actividad, entre otros) que permiten analizar para distintos años, cómo va evolucionando el país en materia de eficiencia energética, y de esta forma lograr mantener un monitoreo constante mediante métodos robustos.

Uno de los **Métodos de Descomposición por Índices** más conocido, es el Índice de Divisia, que permite descomponer el consumo final de energía para todos los años, mediante una fórmula simple y que permite incorporar variables nuevas sin tener que alterar de gran manera las formulaciones, por lo que su uso se vuelve bastante atractivo a la hora de poder incorporar efectos transversales.

Se espera que mediante el presente informe el lector pueda identificar qué método es más factible ocupar y por qué, y a su vez se entienda la importancia de que Chile cuente con métricas robustas de análisis energético.

¹ Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos

1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de esta tesis es aplicar un método empírico para analizar la evolución del consumo energético y la gestión estratégica de políticas de eficiencia energética en Chile para el período comprendido entre los años 1998 y 2013.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para poder cumplir el objetivo general y con la metodología planteada en el apartado siguiente, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- i. **Diagnosticar** los métodos de Descomposición por Índices y la situación general de Chile, se analizan las ventajas y desventajas de estos.
- ii. **Elegir** la metodología que se aplica sobre la data chilena, utilizando las fórmulas planteadas y verificando que la información cumple con los requisitos necesarios.
- iii. **Aplicar** el método de descomposición elegido.
- iv. **Describir** el procedimiento utilizado para el desarrollo de los cálculos, que incluya todo el tratamiento de datos necesario para la coherencia del análisis, junto con las fórmulas empíricas para ocupar la metodología seleccionada en el punto iii.

1.3 ALCANCES

Para aplicar los objetivos planteados anteriormente se estudian los diferentes métodos de descomposición por índices, cuya posterior aplicación incluye los sectores Transporte, Industrial y Minero y Comercial, Público y Residencial, con los datos provenientes del Banco Central de Chile y los Balances Nacionales de Energía de la Comisión Nacional de Energía de Chile para el período comprendido entre los años 1998 a 2013.

1.4 METODOLOGÍA

La forma mediante la cual se lleva a cabo el proyecto es en base a un procedimiento dividido en 4 etapas, estas son: *Análisis y validación,*

Obtención y revisión de datos, Trabajo preliminar de los datos, Trabajo de datos revisados, Análisis y extensión, Incorporación al documento.

1.4.1 ETAPA 1: ANÁLISIS Y VALIDACIÓN

La etapa de validación busca principalmente lograr adquirir los conocimientos necesarios y base para poder guiar la investigación hacia una línea segura.

- i. Recolección de información:** Se recopila la información pertinente a las metodologías de descomposición por índices para verificar la viabilidad de su aplicación.
- ii. Análisis y elaboración:** Se redacta un primer documento en español, que contenga los aspectos más importantes de estos métodos, incluyendo un análisis de ventajas y desventajas, ecuaciones, breve historia y conclusiones sobre cuál debiese ser aplicado al caso en cuestión.

1.4.2 ETAPA 2: OBTENCIÓN DE DATOS

Posterior a la validación de la información, es necesario obtener la data para poder llevar a cabo la metodología seleccionada, esto se espera realizar de la siguiente manera.

- i. Búsqueda de datos:** Descarga de los datos en los archivos presentes de las Cuentas Nacionales del Banco Central, junto con los Balances Nacionales de Energía de Chile.
- ii. Evaluación:** Evaluación del formato de los datos e identificación de posibles problemas en cuanto a formato.

1.4.3 ETAPA 3: TRABAJO DE DATOS

Con los datos obtenidos en la etapa 2 se aplican las fórmulas del método seleccionado.

- i. **Aplicación prueba:** Se aplica el método escogido a modo de prueba y verificación de resultados.
- ii. **Revisión y corrección:** Se revisan los resultados obtenidos con objeto de encontrar posibles errores en los cálculos y poder corregirlos.
- iii. **Análisis:** Se realizan análisis gráficos con los efectos obtenidos. Se buscan posibles soluciones a los problemas encontrados.

1.4.4 ETAPA 4: ANÁLISIS Y REDACCIÓN

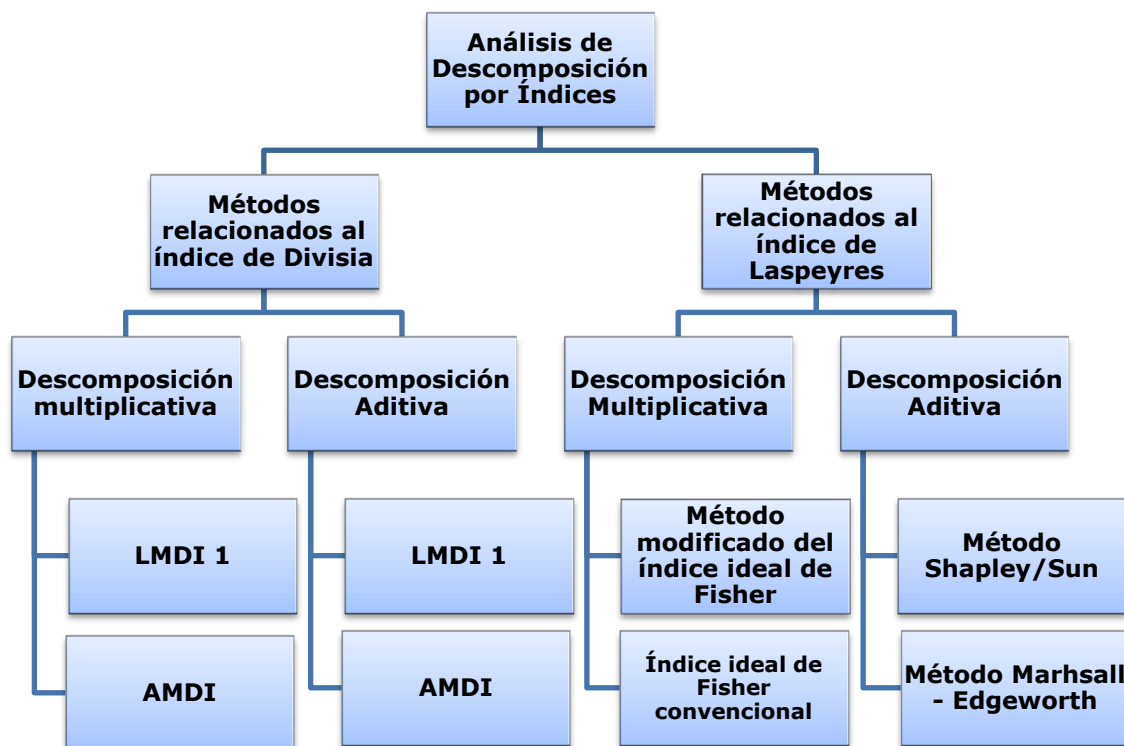
- i. **Análisis:** Se realiza un análisis tomando en cuenta acontecimientos importantes que determinen períodos claves en materia de cambios energéticos.
- ii. **Extensión:** Verificar si existen extensiones al método escogido para poder realizar un análisis superior.
- iii. **Redacción:** Se redacta el documento tomando en cuenta los análisis y la selección del método a aplicar.

2 METODOLOGÍA DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES Y SUS CLASIFICACIONES

En los años 90, producto de la preocupación, tanto por el medio ambiente como por buscar nuevas fuentes de energías más eficientes, los países de la OCDE comienzan a utilizar una serie de métodos cuyo objetivo principal es poder monitorear la evolución en el consumo de energía. Estos son conocidos como **métodos de descomposición por índices**, entre los cuales se pueden encontrar el índice de Laspeyres, Divisia, entre otros.

En el año 1995 se definen parte de los cimientos de los métodos de descomposición, identificándose dos ramas importantes: Las relacionadas al índice de Divisia y al índice de Laspeyres. Posteriormente en el año 2000, B.W Ang y F.Q. Zhang proponen la formulación general [20], formalizando las ecuaciones para su utilización.

Figura 1. Metodologías Existentes



Fuente: Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method ?, B.W. Ang

En la **Figura 1** el lector puede apreciar los diferentes Métodos de Descomposición que existen, estos se dividen en dos ramas principales:

Métodos relacionados al Índice de Divisia: Se encuentran tanto en su versión **aditiva** como **multiplicativa**² (Ver capítulo de Formulación de Parámetros), e incluyen formulaciones generales que permiten incorporar efectos diferentes de manera simple. Fórmula planteada por B.W. Ang.

Métodos relacionados al Índice de Laspeyres: Se presentan al igual que con los relacionados al Índice de Divisia. Estos son utilizados principalmente para el cálculo del IPC y para el cálculo del deflactor del PIB (Índice de Paasche) por lo que su formulación es más compleja de extender.

² La descomposición aditiva incluye en sus ecuaciones la diferencia entre un período T y uno 0, en cambio la descomposición multiplicativa incorpora los cocientes entre ambos períodos.

Es importante que el lector tome en cuenta que los ID³ poseen una serie de características y propiedades deseables que son determinantes para su elección que se detallan a continuación.

3 MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Una de las principales características de los Métodos ID es su gran diversidad en cuanto a **áreas de aplicación**⁴, por ejemplo, pueden ser aplicados para comparar países entre sí, obteniendo efectos que indican cómo se distribuye la diferencia en el consumo energético y así comparar en qué región hay una mayor eficiencia energética. En la sección *Apéndices* el lector puede revisar en detalle las áreas que poseen los métodos expuestos, en particular para la presente tesis se realiza un análisis nacional, utilizando la evolución del consumo energético para un período dado.

Para poder escoger el mejor ID, es necesario evaluar una serie de **criterios**, estos son:

Fundamento teórico: Que se encuentren basados en índices numéricos, como lo es el cálculo del IPC, IPP, entre otros.

Adaptabilidad: Capacidad de adaptarse a diversos tipos de problemas relacionados a la evolución en el consumo u otros factores. Qué tan fácil se pueden cambiar de acuerdo a los requerimientos.

Facilidad de uso: Qué tan simple es de aplicar el método, al ser usado en diferentes problemas. Hace referencia a la flexibilidad de las fórmulas y que una persona que no tenga alta experiencia en el tema pueda usarlas de manera sencilla.

Facilidad de interpretación de resultados: Por último un punto muy importante es que los resultados entregados sean de fácil interpretación, ya sea como valores porcentuales o como un índice, indiquen de manera clara y concisa las tendencias en la evolución del consumo o de las emisiones (dependiendo del caso de estudio).

³ Índice de Descomposición.

⁴ Revisar Sección Apéndices.

Junto con los criterios para poder escoger una de las formulaciones, existe una serie de **test de hipótesis** que permiten también tener un sustento teórico mucho más sólido, estos son el **test circular, de reversión de factores y reversión temporal**. La idea principal es que por medio de éstos, se obtienen resultados interesantes para los ID, como por ejemplo si acaso sus fórmulas se pueden aplicar progresiva (1998 a 2013) o regresiva (2013 a 1998), entre otras. Si el índice, posterior a la aplicación de los test mencionados presenta resultados favorables, se califica como robusto y es factible en términos de aplicación y análisis. En la sección de Apéndices el lector puede encontrar en mayor detalle las definiciones y resultados de los test para cada índice.

3.1 DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA BASE

Para poder utilizar los métodos ID se define una función agregada V (ejemplo: consumo final de energía), expresada de la siguiente forma:

$$V = \sum_i X_{i1} X_{i2} X_{i3} \dots X_{in} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

En donde X se define como el i-ésimo sector de un total de m y el segundo índice denota la cantidad de factores, de un total de n, un ejemplo de lo anterior sería considerar la *Producción (X) del sector Transporte (m) para el período t (n)*.

La idea es obtener un efecto total a partir de las funciones agregadas del consumo final de energía para un período de tiempo final a evaluar (T) y uno inicial (0).

Se derivan entonces, de la ecuación (1), las correspondientes para un período T y uno inicial,

$$V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$$

$$V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T$$

de este modo, el ratio que se analiza para la **descomposición multiplicativa** es el siguiente:

$$D_{tot} = \frac{V^T}{V^0} = D_{x_1} D_{x_2} \dots D_{x_n} \quad (2)$$

Para la **descomposición aditiva** se busca descomponer una diferencia de factores independientes, como se muestra a continuación:

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \dots + \Delta V_{x_n} \quad (3)$$

Con esto se tienen diferentes efectos derivados de la evolución de la función agregada. En los **anexos 1 y 2** se pueden ver las formulas generales para la descomposición multiplicativa y aditiva.

4 MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES

A continuación se procede a analizar los principales índices: Divisia y Laspeyres, utilizando como datos, el consumo energético y la producción total.

4.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS:

E_t = Consumo total de energía en la industria

$E_{i,t}$ = Consumo energético en el sector i

Q_t = Producción total en la industria

$Q_{i,t}$ = Producción total en el sector i

$S_{i,t}$ = Proporción de la producción del sector i $\left(= \frac{Q_{i,t}}{Q_t} \right)$

I_t = Intensidad agregada de energía $\left(= \frac{E_t}{Q_t} \right)$

$I_{i,t}$ = Intensidad energética del sector i $\left(= \frac{E_{i,t}}{Q_{i,t}} \right)$

Función de intensidad agregada

$$I_t = \sum_i S_{i,t} I_{i,t} \quad (4)$$

Función de consumo energético agregado

$$E = \sum_i Q S_i I_i \quad (5)$$

Se puede observar que existen diferentes formas de definir la función agregada sobre la cual se desprenden los efectos que se utilizan en para comparar por años, cualquiera que se ocupe presenta una interpretación correcta, pero con diferente número de efectos. El primero presenta efecto

de estructura e intensidad, y el segundo efecto de estructura, intensidad y actividad⁵.

Si se utiliza la ecuación (4), y se supone que la intensidad agregada varía entre un tiempo 0 y un T arbitrario, entonces se tiene que el efecto total puede expresarse de dos formas: $D_{tot} = \frac{I_T}{I_0}$ y $\Delta I_{tot} = I_T - I_0$, que corresponden a la descomposición multiplicativa y aditiva, respectivamente. A continuación se presentan las ecuaciones que entregan los distintos efectos, dependiendo del tipo de descomposición utilizada.

4.2 DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA

La ecuación que entrega el efecto total (cociente entre consumo final en el período T y el consumo final en el período 0) es la siguiente

$$D_{tot} = \frac{I_T}{I_0} = D_{str} D_{int} \quad (6)$$

en donde D_{str} y D_{int} son respectivamente los efectos de estructura e intensidad.⁶

4.3 DESCOMPOSICIÓN ADITIVA

La ecuación que entrega el efecto total (diferencia entre el consumo final en el período T y el consumo final en el período 0) es la siguiente,

$$\Delta I_{tot} = I_T - I_0 = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} \quad (7)$$

en donde I_{str} e I_{int} son los efectos de estructura e intensidad. Cabe destacar que en el caso en que la función utilizada sea la de la ecuación (5) los términos que se obtienen son $D_{tot} = E_T/E_0$ para la **descomposición multiplicativa**, y $\Delta E_{tot} = E_T - E_0$ para la **descomposición aditiva**. El concepto es básicamente el mismo, sólo que se agrega el efecto por producción en la función agregada y en la descomposición.

⁵ Las dos modalidades son correctas, depende de lo que se desee ocupar.

⁶ En la sección de aplicación de la metodología para el caso de Chile se detalla cada efecto según su aplicación.

5 ÍNDICE DE LASPEYRES

Es uno de los Métodos ID, que junto con el Índice de Divisia, permiten descomponer el consumo final de energía en distintos efectos, y de este modo poner analizar la situación a nivel país.

Es importante tomar en cuenta que el Índice de Laspeyres es utilizado para el cálculo del Índice de Precios al Consumidor⁷, en el cual se van variando los precios con respecto a cantidades fijas para un año base, presentando algunas complicaciones al extender las fórmulas respectivas para el caso del análisis de la evolución en el consumo energético.

5.1 FÓRMULA DE LASPEYRES

$$L_p = \frac{\sum w_i I_i^t}{\sum w_i} = \frac{\sum \left(\frac{p_{it}}{p_{i0}}\right) p_{i0} q_{i0}}{\sum p_{i0} q_{i0}} = \frac{\sum p_{it} p_{i0}}{\sum p_{i0} q_{i0}}$$

En donde $w_i = p_{i0} q_{i0}$, $I_i^t = \frac{p_{it}}{p_{i0}}$, es por esto que se dice que éste índice corresponde a una ponderación del de precios (por el factor w). Se debe tener en cuenta que es necesario utilizar años base (año fijo), sin la posibilidad de ir avanzando o retrocediendo en una línea temporal (ejemplo, 1998 - 2013, 2013 - 1998).

Laspeyres puede ser utilizado a su vez, para la generación de métricas de evaluación de la evolución en el consumo final de energía, tomando en cuenta que es necesaria la presencia de un año base. De este modo utilizando la ecuación (4) se pueden desprender las fórmulas para cada uno de los factores por efecto para este índice⁸. Es importante destacar que si se desean incorporar más de los tres efectos, los cálculos y la formulación de las ecuaciones aumenta en cuanto a complejidad. A continuación se presentan las ecuaciones para los efectos de estructura e intensidad, junto

⁷ Corresponde a un número índice que se calcula utilizando precios y cantidades de un determinado período, contrastadas con el presente (u otro período de estudio), uno de los más comunes es el índice de precios al consumidor, el cual mide cómo evoluciona el gasto de una familia a través del tiempo. En resumen, este índice estudia la evolución de precios de un bien o un conjunto de bienes.

⁸ Se puede usar la función $E = \sum_i Q S_i I_i$ para el caso en que se quiera agregar el efecto de actividad.

con el factor correspondiente al residuo, tanto para la descomposición multiplicativa como para la aditiva.

5.1.1 DESCOMPOSICIÓN MULTIPLICATIVA

$$D_{str} = \frac{\sum_i S_{i,T} I_{i,0}}{\sum_i S_{i,0} I_{i,0}} \quad (8)$$

$$D_{int} = \frac{\sum_i S_{i,0} I_{i,0}}{\sum_i S_{i,0} I_{i,0}} \quad (9)$$

$$D_{rsd} = \frac{D_{tot}}{D_{str} D_{int}} \quad (10)$$

Donde el término con "rsd" denota la parte de D_{tot} que no es explicada por el modelo. En la descomposición aditiva se utilizan como referencia las ecuaciones (4) y (7).

5.1.2 DESCOMPOSICIÓN ADITIVA

$$\Delta I_{str} = \sum_i S_{i,T} I_{i,0} - \sum_i S_{i,0} I_{i,0} \quad (11)$$

$$\Delta I_{int} = \sum_i S_{i,0} I_{i,T} - \sum_i S_{i,0} I_{i,0} \quad (12)$$

$$\Delta I_{rsd} = \Delta I_{tot} - \Delta I_{str} - \Delta I_{int} \quad (13)$$

En donde nuevamente el término con "rsd" presenta el residuo no explicado por el modelo.

Existen, sin embargo, dos problemas para el Índice de Laspeyres mencionados por Ang[2]. El primero guarda relación con la **descomposición imperfecta**, es decir que todos presentan un término residual. Esto significa que si el valor del término residual es muy elevado, la descomposición pierde significancia. El segundo problema se refiere a que debe existir un **año base**, por lo que impide que se analicen una serie de años de manera consecutiva (1998 - 1999, 1999 - 2000, etc.).

A modo de resolver los problemas que existen con los términos residuales, se propone una extensión al modelo, el Índice de Laspeyres Refinado, que presenta dos limitaciones importantes. Una de ellas guarda relación a que sólo es posible de aplicar utilizando la descomposición aditiva y la segunda referente a la alta complejidad que tiene su formulación, sobre todo al querer incluir más de tres efectos de descomposición, producto de los términos de orden superior igualmente distribuidos que se deben incorporar. Esto se refleja en la siguiente ecuación:

5.2 LASPEYRES REFINADO

$$\Delta V_k = \left\{ \left[\sum_i X_{i1,0} \dots (X_{iK,T} - X_{ik,0}) \dots X_{in,0} \right] \right. \\ \left. + (\text{Términos de interacción de orden superior igualmente distribuidos}) \right\}$$

Esto presenta un defecto importante para esta medida ya que puede ser de bastante interés el incorporar variables nuevas, como las emisiones de dióxido de carbono o incluso separar el consumo según combustibles para poder analizar la participación de cada uno.

6 ÍNDICE DE DIVISIA

Conocido como uno de los métodos más usados en la descomposición por efectos para el caso del consumo energético, el Índice de Divisia se caracteriza por su simplicidad de uso, facilidad de incorporación de efectos y robustez en cuanto a la data que soporta, además se debe destacar que aprueba todos los test mencionados anteriormente⁹.

A continuación se presentan las fórmulas y pasos para poder llegar a estas, tanto para la versión **aritmética** como **logarítmica**.

6.1 ÍNDICE DE MEDIAS ARITMÉTICAS DE DIVISIA (AMDI)

A continuación se presenta la formulación del método AMDI de descomposición por índices.¹⁰

Aplicando diferenciación logarítmica ¹¹a la ecuación (4) se obtiene que:

⁹ Revisar Apéndice 2

¹⁰ Demostración y ecuaciones presentes en B.W.Ang F.Q Zhang / Energy 25 (2000) 1149 - 1176, para mayor detalle se puede revisar "Divisia F. L'indice monetaire et al theorie de la monnaie. Revue Divisia Economic Politique 1925;9(2):109-35" , "Hulten CR. Divisia index numbers. Econometrica 1973;41(6):1017-25", "Diewert WE. Recent developments in the economic theory of index numbers: capital and the theory of productivity. American Economic Review 1980;70(2):260-7."

¹¹ $y' = \left(v' \ln u + \frac{vu'}{u} \right) y$

$$\frac{d \ln(I_t)}{dt} = \sum_i \omega_i \left[\left(\frac{d \ln(S_{i,t})}{dt} \right) + \left(\frac{d \ln(I_{i,t})}{dt} \right) \right] \quad (14)$$

donde $\omega_i = \frac{E_{i,t}}{E_t}$ es la porción de consumo energético en el sector i , es conocido como una función de peso dentro de la sumatoria. Luego integrando sobre el tiempo, entre 0 y T y re-ordenando los términos se tiene que:

$$\ln \left(\frac{I_T}{I_0} \right) = \int_0^T \sum_i \omega_i \left[\frac{d \ln(S_{i,t})}{dt} \right] + \int_0^T \sum_i \omega_i \left[\frac{d \ln(I_{i,t})}{dt} \right] \quad (15)$$

luego aplicando función exponencial a la ecuación (15), se puede llegar a la expresión para la forma multiplicativa $D_{tot} = D_{str} D_{int}$ donde:

$$D_{str} = \exp \left\{ \int_0^T \sum_i \omega_i \left[\frac{d \ln(S_{i,t})}{dt} \right] \right\} \quad (16)$$

$$D_{int} = \exp \left\{ \int_0^T \sum_i \omega_i \left[\frac{d \ln(I_{i,t})}{dt} \right] \right\} \quad (17)$$

al estar los datos disponibles en forma discreta para los estudios empíricos, la función de peso se suele aproximar por la media aritmética de dicho peso entre 0 y T de la siguiente forma:

$$D_{str} = \exp \left\{ \sum_i \frac{\omega_{i,T} + \omega_{i,0}}{2 \ln \left(\frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right)} \right\} \quad (18)$$

$$D_{int} = \exp \left\{ \sum_i \frac{\omega_{i,T} + \omega_{i,0}}{2 \ln \left(\frac{I_{i,T}}{I_{i,0}} \right)} \right\} \quad (19)$$

A este tipo de aproximación se le denomina *fórmula de Törnqvist*. El producto de las ecuaciones (18) y (19) no es igual a D_{tot} , por lo que existe un término residual no explicado en el modelo, quedando finalmente que $D_{tot} = D_{str} D_{int} D_{rsd}$. Para el caso de descomposición aditiva es posible derivar los términos de manera similar, obteniéndose:

$$\Delta I_{str} = \sum_i \frac{\left(\frac{E_{i,T}}{Y_T} + \frac{E_{i,0}}{Y_0} \right)}{2 \ln \left(\frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right)} \quad (20)$$

$$\Delta I_{int} = \sum_i \frac{\left(\frac{E_{i,T}}{Y_T} + \frac{E_{i,0}}{Y_0} \right)}{2 \ln \left(\frac{S_{i,T}}{S_{i,0}} \right)} \quad (21)$$

$$y \Delta I_{tot} = \Delta I_{str} + \Delta I_{int} + \Delta I_{rsd}$$

donde el término con "rsd" hace referencia al residuo no explicado por el modelo.

Este método al igual que el de Laspeyres tiene diversas complicaciones, una de ellas es que puede que el término residual entregue un valor diferente de cero para el caso en que existan cambios significativos entre un período de evaluación 0 y otro T, lo cual podría desencadenar que la descomposición no sea representativa de la realidad. Otro problema surge producto de la indefinición de los logaritmos presentes en las fórmulas de los pesos, esto puesto que en el caso de incorporarse una nueva fuente de generación energética, como por ejemplo la energía eólica, existe un valor igual a cero en el período 0 y uno diferente de cero en el período T (mencionado en apartados anteriores). Para poder hacer frente principalmente al problema de que se indefinen los términos logarítmicos y a su vez para eliminar el término residual (descomposición perfecta), se desarrolla el índice de medias logarítmicas de Divisia (LMDI).

6.2 ÍNDICE DE MEDIAS LOGARÍTMICAS DE DIVISIA (LMDI I)

Para poder hacer frente a las complicaciones presentes en el AMDI, se desarrolla una nueva extensión al Índice de Divisia, el LMDI I. A continuación se presenta la demostración de este, utilizando como función objetivo, las emisiones de gases efecto invernadero.

Se asumen n sectores industriales y m tipos de combustibles, con esto se pueden expresar las emisiones de gases efecto invernadero CO_2 (C) en términos de la producción industrial, factores de emisión de energía, mezcla de combustibles e intensidad de energía de la siguiente manera¹²:

6.2.1 VERSIÓN CONTINUA

Es importante que el lector tome en cuenta que para la demostración presentada a continuación se incorporan **dos efectos más**, el de **mezcla de combustibles** y el de **emisión**, en donde el factor C corresponde a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Esto es válido ya que el Índice

¹² La demostración presentada en esta sección se obtuvo de B.W. Ang F.L. Liu / Energy 26 (2001) 537-548. Es importante notar que la función agregada puede variar, sin perder consistencia en la formulación.

de Divisia al presentar una formulación sencilla, permite incorporar nuevos efectos de manera intuitiva, sin cambiar la coherencia de las ecuaciones¹³.

En la ecuación 22 se presenta la función agregada,

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_i U_{ij} S_{ij} I_i \quad (22)$$

donde C_{ij} es el término que define las emisiones de CO_2 para el combustible j en el sector i , Y_i es la producción industrial del sector i , $U_{ij} = C_{ij}/E_{ij}$ es el factor de emisión del combustible j en el sector i , $S_{ij} = E_{ij}/E_i$ es la porción de consumo energético del combustible j en el sector i (E_{ij} es el consumo de combustible j y E_i es el consumo energético total, ambos para el sector i), e $I_i = E_i/Y_i$ es la intensidad energética en el sector i .

Para poder observar cómo las emisiones agregadas son afectadas por los factores del lado derecho de la ecuación (22), se realiza el mismo procedimiento que se utiliza en la ecuación (14). Usando diferenciación logarítmica con respecto al tiempo en la ecuación (22) se tiene:

$$\frac{d \ln C}{dt} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{Y_i U_{ij} S_{ij} I_i}{C} \left(\frac{d \ln Y_i}{dt} + \frac{d \ln U_{ij}}{dt} + \frac{d \ln S_{ij}}{dt} + \frac{d \ln I_i}{dt} \right) \quad (23)$$

Integrando la ecuación (23) sobre el tiempo en el intervalo $[0, T]$ se tiene:

$$\ln \left(\frac{C_T}{C_0} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^T w_{ij}(t) \left(\frac{d \ln Y_i(t)}{dt} + \frac{d \ln U_{ij}(t)}{dt} + \frac{d \ln S_{ij}(t)}{dt} + \frac{d \ln I_i(t)}{dt} \right) dt \quad (24)$$

donde

$$w_{ij}(t) = \frac{Y_i(t) U_{ij}(t) S_{ij}(t) I_i(t)}{C(t)} = \frac{Y_i(t) U_{ij}(t) S_{ij}(t) I_i(t)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_i(t) U_{ij}(t) S_{ij}(t) I_i(t)} \quad (25)$$

Aplicando función exponencial en la ecuación (24) se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{C_T}{C_0} = & \exp \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^T w_{ij}(t) \frac{d \ln Y_i(t)}{dt} dt \right) \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^T w_{ij}(t) \frac{d \ln U_{ij}(t)}{dt} dt \right) \\ & \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^T w_{ij}(t) \frac{d \ln S_{ij}(t)}{dt} dt \right) \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^T w_{ij}(t) \frac{d \ln I_i(t)}{dt} dt \right). \end{aligned} \quad (26)$$

¹³ El desarrollo es igual de consistente que al ser realizado utilizando como función agregada la intensidad de energía.

6.2.2 VERSIÓN DISCRETA

Para poder realizar estudios empíricos con datos reales, es necesario discretizar la ecuación (26). Para esto se utiliza la siguiente fórmula de cambio logarítmico:

$$\begin{aligned} \frac{C_T}{C_0} \cong & \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}(t^*) \ln \frac{Y_{i,T}}{Y_{i,0}}\right) \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}(t^*) \ln \frac{U_{ij,T}}{U_{ij,0}}\right) \\ & \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}(t^*) \ln \frac{S_{ij,T}}{S_{ij,0}}\right) \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij}(t^*) \ln \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}}\right) \end{aligned} \quad (27)$$

donde $w_i(t^*)$ es una función de peso entregada por la ecuación (25) en el punto $t^* \in [0, T]$. En la ecuación (4) se desconoce el punto específico. Boyd[6] propone el uso de una función de peso de media aritmética dada por el promedio aritmético de dos pesos en puntos finales, es decir.

$$w_{ij}(t^*) = 0,5 \left(\frac{C_{ij,0}}{C_0} + \frac{C_{ij,T}}{C_T} \right)$$

Este método ha sido adoptado en muchos estudios de descomposición energética, pero dado al término residual que entrega y el problema con valores iguales a cero Ang y Choi [7] proponen el uso de funciones de peso de medias logarítmicas introducidas por Vartia [8] y Sato [9], demostrando que utilizando esta función no se presentan los problemas que posee el AMDI. La media logarítmica entre dos números positivos se define como:

$$L(x, y) = \frac{y-x}{\log\left(\frac{y}{x}\right)} \text{ para } x \neq y \quad (28)$$

y además $L(x, x) = x$

Vartia[6] propone el uso del total del valor agregado como un ítem del peso. En la función de peso, se toma $L(C_{ij,0}, C_{ij,T})$ como la media logarítmica del valor factorial y

$$L\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij,0}, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij,T}\right) = L(C_0, C_T)$$

Como la media logarítmica del valor agregado. Se define entonces

$$\tilde{w}_{ij}(t^*) = \frac{L(C_{ij,0}, C_{ij,T})}{L(C_0, C_T)} \quad (29)$$

Insertando la ecuación (29) en la (27) se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{C_T}{C_0} &\equiv \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{w}_{ij}(t^*) \ln \frac{Y_{i,T}}{Y_{i,0}}\right) \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{w}_{ij}(t^*) \ln \frac{U_{ji,T}}{U_{ji,0}}\right) \\ &\cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{w}_{ij}(t^*) \ln \frac{S_{ij,T}}{S_{ij,0}}\right) \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{w}_{ij}(t^*) \ln \frac{I_{i,T}}{I_{i,0}}\right). \end{aligned} \quad (30)$$

Luego se puede escribir la ecuación (30) de la siguiente forma:

$$D_{tot} = D_{pdn} D_{emf} D_{mix} D_{int} \quad (31)$$

donde $D_{tot} = \frac{C_T}{C_0}$ y los índices de los términos D_{pdn} , D_{emf} , D_{mix} y D_{int}

son respectivamente los factores de efectos asociados con la producción de la industria, las emisiones de gases efecto invernadero, mezcla de combustible e intensidad de energía.

Esta metodología presenta una serie de propiedades importantes, como la **descomposición perfecta**¹⁴, consistencia en agregación y además no posee problemas con valores negativos ni aquellos iguales a cero, lo cual facilita en gran medida su aplicación y soluciona muchos de las dificultades del AMDI.

Uno de los problemas que presenta el LMDI es el nivel de desagregación de los datos, esto se ve reflejado para el caso en que se quiera estudiar el cambio por efectos y no se tenga la producción por sub-sector, o algún otro factor de interés como las emisiones de gases efecto invernadero, complicando la aplicación de las fórmulas. Presenta también una complicación en cuanto a la interpretación de los datos para la descomposición multiplicativa al ser índices y no datos porcentuales.

Visto lo anterior, finalmente se concluye mediante una comparación de ambos métodos. Es válido destacar que cualquiera de los que se utilice entrega resultados relativamente significativos (dependiendo de los residuos), siendo el más conveniente en cuanto a la facilidad de uso y la robustez de los resultados el LMDI I.

¹⁴ No genera términos residuales.

7 COMPARACIÓN DE ÍNDICES

Por último se tienen a continuación los pro y los contra para ambos métodos descritos anteriormente.

Tabla 1. Comparación métodos de descomposición

Índice de Laspeyres	Índice de Divisia
Mide cambio porcentual en algún aspecto sobre un grupo de ítems en el tiempo, usando pesos que se basan en los valores sobre un año base	Es una suma ponderada de las tasas de crecimiento logarítmico, donde los pesos una proporción de los componentes en el valor total, dados en la forma de una integral lineal.
Está basado en el concepto de cambio porcentual: cambio asimétrico y no-aditivo	Está basado en el concepto de cambio logarítmico: indicador simétrico y aditivo relativo al cambio
Valores dependen del año base	Se puede ir variando los años, no es necesario un año base
En cuanto a la formulación de sus ecuaciones, al incorporar más efectos o sub sectores se le agrega más complejidad y no se mantiene en una forma estable	Las ecuaciones de su formulación permanecen relativamente iguales, se pueden incorporar sectores y efectos de manera sencilla, sin mayor complicación.
Presenta diferencias entre el enfoque multiplicativo y el aditivo (métodos distintos)	Las diferencias entre los enfoques multiplicativo y aditivo son solo en la formulación de la función agregada
El método convencional del índice de Laspeyres entrega términos residuales	No entrega términos residuales
-	Trabaja con valores positivos y negativos dada la simetría existente en el cambio logaritmo
No presenta problemas con valores iguales a cero	Puede trabajar con valores iguales a cero, reemplazándolos por potencias de 10 elevadas a un exponente entre -10 y -20, sin perder generalidad.
Sólo se puede aplicar la descomposición aditiva en el índice refinado de Laspeyres	Se pueden aplicar tanto la descomposición multiplicativa como aditiva.

Fuente: Elaboración propia

8 TIPO DE DESCOMPOSICIÓN: MULTIPLICATIVA O ADITIVA

La elección sobre el tipo de descomposición que se desea utilizar es metodológicamente inconsecuente, esto es producto de que su elección versa netamente en la arbitrariedad y en la facilidad de interpretación de sus resultados. Sin embargo, si se espera utilizar la descomposición con respecto a un año base sobre un determinado período, es más conveniente la multiplicativa, la cual entrega valores en índices que pueden ser graficados según su año. Para el caso de la aditiva, se suele utilizar cuando se comparan dos años y se tiene un alto nivel de desagregación de los datos, esto permite entender de manera más intuitiva los resultados ya que entrega un valor porcentual (es mejor aplicarla cuando no existe la data para todo el horizonte temporal).

9 ELECCIÓN DE ÍNDICE

En cuanto a la elección del índice, se destaca que los argumentos en los que se sustenta son los siguientes



Dentro de los que se destaca el poder variar los períodos de estudio, es decir el método permite ir moviendo el horizonte temporal hacia adelante o hacia atrás (0 a T, T a 0), la facilidad para incorporar nuevos efectos como las emisiones de dióxido de carbono, la ausencia de residuos y por último al flexibilidad que posee al momento de utilizar datos con valores cero, positivos y negativos. Por estas razones el método que mejor se adapta para lo que se espera realizar es el **Índice de Medias Logarítmicas de Divisia**

10 ÍNDICE DE DIVISIA: INDUSTRIA ENERGÉTICA DE CHILE

A continuación se utiliza el Índice de Divisia para poder evaluar la evolución del consumo energético en Chile para un período comprendido entre 1998 y 2013.

Como se aprecia en secciones anteriores, es necesario tener consideración el comportamiento de la data existente a disposición así como también el largo del período de estudio y la forma en que se espera aplicar el método.

El uso de métricas de este tipo permite poder evaluar si las medidas propuestas por organismos gubernamentales cuyo objetivo es velar por una mayor eficiencia energética conllevan a una reducción en el consumo final, junto con evaluar la situación a nivel macroeconómico, viendo cómo evoluciona el Producto Interno Bruto y la participación por sector. Teniendo un nivel de información mucho más específico, se pueden incorporar otro tipo de efectos y una mayor desagregación de los datos, pudiendo obtener resultados más robustos y significativos (ejemplo, analizar solo el sector de Industria y Minería).

Es por esto que es de interés el poder aplicar el LMDI I para revisar no sólo la evolución del consumo energético, sino que también qué falencias presentan los datos en cuanto a términos de presentación y niveles de desagregación. ¿Se puede efectivamente aplicar el Índice de Divisia tomando la base de datos de Chile? ¿Es un buen indicador?, se espera que el lector pueda encontrar las respuestas a estas interrogantes a lo largo del desarrollo de la presente tesis.

10.1 CONTEXTO PAÍS

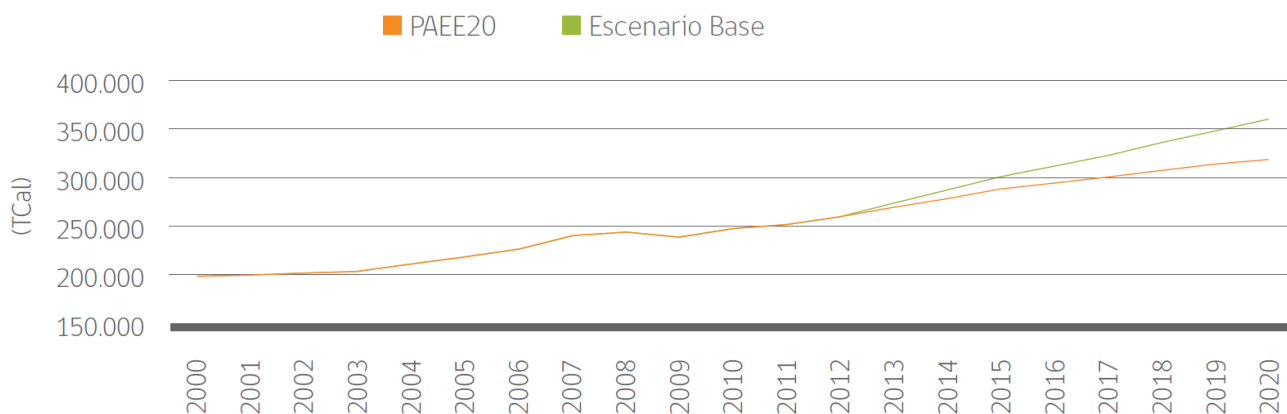
Chile, al igual que muchos países pertenecientes a la OCDE, busca una serie de objetivos y tiene distintas metas en pos de lograr un consumo más eficiente en materia de energía, así como también poder disminuir los costos tarifarios y poder finalmente desacoplar la curva de crecimiento económico con la del consumo final de energía. Para esto el gobierno de Chile se ha propuesto diferentes metas para un período concreto de años, es por esto que a modo de que el lector pueda tener una contextualización adecuada sobre estos planteamientos, se presenta a continuación un resumen de los aspectos más importantes del Plan de Eficiencia Energética 2020 y la Agenda de Energía.

10.1.1 PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Una de las primeras medidas importantes que decide tomar el Estado de Chile en materia de ahorro energético, es la creación del Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética para el año 2020, basándose en el estudio que realizó el *Programa de Estudios e Investigación en Energía de la Universidad de Chile (PRIEN): "Estudio de Bases para la Elaboración de un Plan Nacional de Eficiencia Energética 2010-2020"*, junto con recomendaciones de la AIE y otra serie de instituciones educacionales como internacionales que tienen como objetivo poder ser un aporte para el desarrollo de Chile en lo que respecta a eficiencia energética.

Para poder llevar a cabo esto se espera poder tomar una serie de medidas para poder lograr una disminución de un 12% en la demanda de energía final proyectada al año 2020 tal como se observa en la *figura 1*.

Figura 2. Proyección Consumo de Energía 2020



Fuente: Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020, Ministerio de Energía

Logrando así un desacople de la curva de consumo en comparación a la de crecimiento económico, señal bastante positiva si lo que se espera es poder lograr generar conciencia en cuanto al uso de la energía, entregando una serie de beneficios, como lo son una disminución en la producción de gases GEI como el CO₂, un nivel mayor de producción de las industrias y una baja lógica en las tarifas de los hogares producto del consumo.

Es válido mencionar a su vez que las medidas del PAEE están orientadas a los tres principales sectores de la economía ya mencionados anteriormente, estos son: Industria y Minería, Comercial, Público y Residencial, Transporte y Energía: Auto consumo, y se espera que las medidas sean actualizadas de manera periódica a modo de incorporar nuevos desarrollos tecnológicos que puedan ser implementados en Chile y que contribuyan a mejorar la eficiencia energética del país.

En cuanto a las medidas, a continuación se presenta un resumen de lo que se espera poder realizar en cada uno de los sectores, para que el lector pueda tener claridad y le haga sentido el trabajo de estudio realizado.

SECTOR INDUSTRIAL Y MINERO

- **PROMOVER LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA:** Se espera fomentar la implementación de sistemas de gestión de energía basados en la norma ISO 50.001. Junto con esto se espera realizar auditorías energética a modo de aumentar las

capacidades técnicas y profesionales para implementar de manera correcta medidas de Eficiencia Energética.

- **PROMOVER Y FOMENTAR LA COGENERACIÓN:** Se espera aumentar las inversiones en cogeneración y poder eliminar las barreras regulatorias de modo de alcanzar mayores niveles de penetración de la tecnología de cogeneración en Chile.
- **FOMENTO A LA ASISTENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS:** Los proyectos serán asistidos bajo una mirada enfocada en la Eficiencia Energética, asistencia técnica y capacitaciones.
- **INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍAS EFICIENTES:** Se espera incorporar nuevas tecnologías que apoyen el uso eficiente de la energía mediante la interrelación entre proveedores y consumidores.

SECTOR TRANSPORTE

- **MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS VEHÍCULOS LIVIANOS Y MEDIANOS QUE INGRESAN AL PARQUE VEHÍCULAR:** Busca incentivar la compra de vehículos eficientes bajo estándares de eficiencia energética a mediano plazo.
- **MEJORAR LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS:** Preparación de choferes de flotas de transporte de pasajeros para poder usar el combustible de manera eficiente.
- **FOMENTAR LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS MÁS EFICIENTES EN EL PARQUE DE VEHÍCULOS PESADOS:** Se espera promover el uso de dispositivos aerodinámicos y sistemas de control de presión de los neumáticos a modo de incrementar la eficiencia energética del parque actual.
- **MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PARQUE ACTUAL DE VEHÍCULOS PESADOS:** Preparación de choferes con técnicas de conducción eficiente que permitan optimizar el combustible utilizado.
- **FOMENTAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A LO LARGO DE LA CADENA LOGÍSTICA:** Se espera poder superar las barreras de inversión para pequeñas y medianas empresas de transporte de carga.
- **INCENTIVAR EL CAMBIO HACIA TRANSPORTE MÁS EFICIENTE:** Utilización de transporte eficiente, tanto en el público como en el privado.
- **INICIACIÓN A LA MOVILIDAD ELÉCTRICA:** Se espera generar una mayor eficiencia gracias a la utilización de vehículos eléctricos.

SECTOR EDIFICACIÓN (Incluye los sectores comercial, público y residencial)

- MEJORAR LA CALIDAD ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE Y DEL EQUIPAMIENTO EN EDIFICACIONES CONSTRUIDAS SIN ESTÁNDARES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Se busca reducir el uso de edificaciones mediante la mejora en sus infraestructuras, adecuándolos a la ubicación en donde se encuentren.
- PROMOVER LA GESTIÓN ENERGÉTICA EFICIENTE EN EDIFICIOS: Se espera desarrollar modelos de gestión de energía para poder instruir a aquellos encargados de las instalaciones que utilizan energía.
- PROMOVER EL DISEÑO DE EDIFICIOS CON ALTO ESTÁNDAR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Se pone en marcha un nuevo etiquetado energético para viviendas nuevas, que informará a los compradores los estándares energéticos alcanzados por éstas.
- PROMOVER LA OFERTA DE PRODUCTOS Y SERVICIOS DE CONSTRUCCIÓN CON CRITERIOS DE EFICIENCIA: Se espera que por medio de la capacitación y formación de los actores relevantes en las cadenas de construcción, los productos y servicios gocen de altos estándares de eficiencia energética.
- PROMOVER LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO DE VÍAS VEHICULARES Y ZONAS PEATONALES DE ÁREAS URBANAS: Se apoyará a los municipios en procesos de recambio del alumbrado público, dando prioridad a aquellos con menos recursos, y formulación de nuevas reglamentaciones.

10.1.2 AGENDA DE ENERGÍA¹⁵

En el año 2014 el nuevo gobierno de la presidenta Michelle Bachelet plantea la Agenda de Energía, documento que tiene como principal objetivo brindar a Chile una energía más confiable, sustentable, inclusiva y con precios más razonables de los que existen hoy en día, con una matriz eléctrica diversificada y con menores barreras de entrada para proyectos de inversión así como nuevos actores. Para poder llevar a cabo esta iniciativa se considera un gasto fiscal total de alrededor de US \$650 millones de dólares

¹⁵ Información extraída de la Agenda de Energía WEB, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile.

Las metas y objetivos de la agenda son los siguientes:

- Reducir los costos marginales de electricidad en un 30% en el Sistema Interconectado Central (SIC), llevando al costo marginal promedio del año 2017 sea inferior a US\$105,96 MWh¹⁶.
- Reducir en un 25% los precios de las licitaciones de suministro eléctrico de la próxima década para hogares, comercios y pequeñas empresas respecto a los precios ofertados en la última licitación del año 2013.
- Levantar las barreras existentes para las ERNC del país, comprometiendo que un 45% de la capacidad de generación eléctrica que se instalará en el país entre el 2014 y 2025 provenga de este tipo de fuentes.
- Fomentar el uso eficiente de la energía como un recurso energético, estableciendo una meta de ahorro del 20% al año 2025.
- Diseñar un sistema de estabilización de precios a los combustibles que reduzca de manera efectiva la volatilidad de los precios combustibles a la que están expuestos los hogares.
- Transformar a ENAP en una empresa robusta de forma tal que sea un actor sólido y con protagonismo en los desafíos energéticos del país.
- Desarrollar al año 2015 una Política Energética, de largo plazo, validada por la sociedad chilena, mediante un proceso participativo y regional.

Para poder llevar a cabo esto, se plantean 7 ejes:

10.1.2.1 EJE 1: UN NUEVO ROL DEL ESTADO

Para que se pueda cumplir con los objetivos planteados por la Agenda de Energía, es necesario que se cumplan una serie de requisitos y mejoras consistentes, como lo son el fortalecimiento de la institucionalidad del Ministerio de Energía, creando un comité consultivo para el diseño futuro de nuevas políticas de eficiencia, una mejor estructuración y un mayor empoderamiento sobre el tema, transformar a ENAP en un actor de la estrategia energética de Chile, la elaboración de una Política Energética que goce de validación social, técnica y política, se espera también fortalecer el capital humano, la ciencia y la innovación, junto con un sistema que pueda abordar situaciones de emergencia energética, todo esto para poder avanzar

¹⁶ Mega watt - hora.

en materia del Estado y se logre consolidar una institución mucho más sólida en materia de eficiencia energética.

10.1.2.2 EJE 2: REDUCCIÓN DE LOS PRECIOS DE LA ENERGÍA, CON MAYOR COMPETENCIA, EFICIENCIA Y DIVERSIFICACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO

Con el objetivo de poder promover una mayor competencia en el mercado eléctrico y lograr precios más accequibles, el Estado de Chile se propone una serie de medidas que abarcan este segundo Eje en la Agenda. Se plantea un reestructuramiento en lo que respecta a las licitaciones para clientes regulados, tanto en el corto como en el largo plazo, se espera promover el uso del GNL en la generación eléctrica, en reemplazo del diesel y finalmente se adoptarán medidas pro eficiencia en el mercado de distribución de gas en red.

10.1.2.3 EJE 3: DESARROLLO DE RECURSOS ENERGÉTICOS PROPIOS

Dadas las fuentes de recursos renovables con las que cuenta Chile, el gobierno ha establecido una serie de medidas de acción para poder aprovecharlas, entre estas están apoyar el desarrollo hidroeléctrico fortaleciendo la Dirección General de Aguas (DGA) en materias relacionadas a energía, la integración de las ERNC en cumplimiento a la Ley de Fomento de las ERNC (20/25), el desarrollo de un mercado ERNC de autoconsumo socialmente eficiente y transversal a todos los actores económicos, se espera promover el desarrollo de la energía geotérmica para el desarrollo local, desarrollo de planes especiales para zonas extremas aisladas y mejoramiento en el uso de la leña.

10.1.2.4 EJE 4: CONECTIVIDAD PARA EL DESARROLLO ENERGÉTICO

La transmisión eléctrica en Chile es uno de los pilares fundamentales del desarrollo eléctrico, es por esto que para poder lograr tener una matriz segura, diversificada y que asegure precios socialmente aceptados se debe trabajar en esta y poder aplicar una serie de medidas que la mejoren, entre estas se encuentran el desarrollar un nuevo marco regulatorio para el transporte de energía, la interconexión SIC - SING, así como una serie de

reformas y normativas destinadas a mejorar la matriz energética por medio del uso de ERNC.

10.1.2.5 EJE 5: UN SECTOR ENERGÉTICO EFICIENTE Y QUE GESTIONA EL CONSUMO

Hace más de 30 años los países industrializados se propusieron como foco el promover la Eficiencia Energética, como una fuente de energía limpia, económica y accesible, es por esto que Chile se ha planteado una meta de reducción de un 20% del consumo energético para el año 2050, en comparación al consumo esperado sin contemplar las medidas señaladas en la Agenda de Energía, para esto se tiene una serie de medidas como lo son la incorporación de la primera Ley de Eficiencia Energética, transformando el tema en una política de Estado, masificando así los proyectos relacionados al tema y consolidando un uso más eficiente de la energía, junto con esto se incentivará la educación sobre el tema, incorporando los conceptos en el ámbito de las viviendas y construcción y a los programas educacionales.

10.1.2.6 EJE 6: IMPULSO A LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

Para poder impulsar el desarrollo en materia de Eficiencia Energética es necesario realizar un monitoreo constante sobre las estrategias de crecimiento y desarrollo de las principales empresas del sector, así como tomar una serie de medidas que apuntan directamente a la infraestructura energética, como lo son la creación de la Unidad de Gestión de Proyectos en el Ministerio de Energía cuyo fin principal es dedicarse a la gestión y revisión de los proyectos energéticos, nuevos procesos de licitación de terrenos fiscales, se buscará un desarrollo sustentable basado en energía termoeléctrica y además se planea incentivar a la Eficiencia Energética logrando que la comunidad reciba parte de los beneficios por llevar a cabo este tipo de prácticas.

10.1.2.7 EJE 7: PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Dados las iniciativas anteriores, es necesario incluir a la sociedad dentro del desarrollo de las políticas de Eficiencia Energética, así como en la contribución individual a las metas propuestas, para esto se propone la

elaboración de una agenda de hidroelectricidad por medio del aporte de los ministerios y el Delegado Presidencial de Recursos Hídricos y creación de mesas para el desarrollo participativo de los proyectos.

Es importante mencionar la Agenda de Energía, puesto que son los planes a futuro que tiene el Estado de Chile para poder disminuir la demanda energética y así el consumo en los hogares, es por esto que el método recién planteado se espera sirva como una herramienta importante y empírica de monitoreo constante.

10.2 METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología utilizada para poder aplicar el LMDI sobre los datos de Chile, entre 1998 y 2013.

Es válido destacar que las fórmulas utilizadas en primera instancia son las del **Índice de Divisia estándar**, que entrega los efectos de **estructura, actividad e intensidad**, posteriormente se describen resultados similares pero con variaciones de este índice, que descomponen de manera más desagregada los sectores y los efectos.

Para el caso de la aplicación estándar del LMDI se consideran tres efectos principales:

- i. **Efecto de Actividad:** Considera cambios en la actividad económica, bajo el supuesto de que un aumento en la producción va de la mano con un aumento en el consumo energético. Se suele medir este efecto en valor agregado.
- ii. **Efecto de Estructura:** Considera los cambios en la participación de cada sector dentro de la economía. Los cambios en la mezcla de actividades tienen un impacto en el consumo energético ya que cada actividad tiene diferente intensidad energética; por ejemplo, el consumo de energía crecerá si una industria de alta intensidad (por ejemplo, la minería) aumenta su participación en la economía.
- iii. **Efecto de Intensidad:** Este efecto considera los cambios en la intensidad energética. La intensidad energética se define como la energía utilizada por unidad de producto. Este último efecto se considera un buen indicador de los cambios en la eficiencia energética. ***Reducción de la intensidad energética se explican ya sea por el uso de la tecnología más eficiente o para mejores procesos.***

Los datos para poder utilizar las fórmulas expresadas en el índice de Divisia son el **PIB nacional a precio constante** (con base en 2008), y el **consumo final de energía secundaria** (en teracalorías) para cada sector. Es válido destacar que el PIB se ve afectado por factores económicos como la inflación, sin embargo es un indicador económico estándar y del cual se posee información suficiente proveniente de las Cuentas Nacionales del Banco Central de Chile. A su vez los Balances Nacionales de Energía proporcionan el consumo energético por sector de actividad económica (como transporte, minería, entre otros), junto con la mezcla por combustibles, lo cual entrega una base de datos bastante interesante.

10.2.1 FUNCIÓN OBJETIVO Y EFECTOS: DIVISIA ESTÁNDAR

Se utiliza la ecuación (5) para poder lograr obtener los efectos deseados, de este modo, retomando la ecuación se tiene que

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i QS_i I_i \quad (32)$$

donde Q es el nivel de actividad total en la economía, S e I son la participación por sector y la intensidad de energía, respectivamente. Luego se definen los dos tipos de descomposición, multiplicativa y aditiva

$$D_{tot} = E^T / E^0 = D_{act} D_{str} D_{int} \quad (33)$$

$$\Delta E_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{tot} = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} \quad (34)$$

En donde cada uno de los efectos está definido mediante las siguientes ecuaciones que permiten su aplicación práctica

Descomposición multiplicativa

$$D_{act} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \right) \quad (35)$$

$$D_{str} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right) \quad (36)$$

$$D_{int} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right) \quad (37)$$

Descomposición aditiva

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (38)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (39)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (40)$$

Con esto se procede a utilizar los datos requeridos y tratarlos mediante las fórmulas recién expuestas.

10.3 FORMATO DE LA INFORMACIÓN Y TRABAJO DE LOS DATOS

10.3.1 PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)

Entre la data utilizada se encuentra la Producción por sector de actividad económica¹⁷, la que se agrupa para que coincida con los sub sectores presentados en los Balances Nacionales de Energía, la agrupación es la siguiente:

- i. **INDUSTRIA Y MINERÍA:** Agropecuario, silvícola + Minería + Industria Manufacturera + Electricidad, gas y agua + Construcción.
- ii. **COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL:** Comercio + Restaurantes y Hoteles + Comunicaciones + Servicios financieros y empresariales + Servicios de vivienda + Servicios personales + Administración pública.
- iii. **TRANSPORTE:** Transporte

Un punto importante a tener en consideración es que el valor del PIB para cada clase de actividad económica se encuentra en millones de pesos chilenos, y a su vez este debe estar bajo el precio de la moneda del mismo año, en otras palabras, debe tener base en un año determinado para todo el horizonte temporal. Para poder realizar esta conversión desde el año 1998 al 2013 se utiliza el deflactor del PIB, que se define como el ratio entre el PIB nominal y el real de un determinado año, multiplicado por cien. Para

¹⁷ Obtenido de los archivos de las cuentas nacionales del Banco Central.

comprender de mejor manera esta definición, es importante definir los siguientes conceptos:

- i. **PIB NOMINAL:** "es el valor a precios de mercado (precios corrientes) de la producción de bienes y servicios finales producidos en un país durante un período determinado de tiempo, normalmente un año¹⁸".
- ii. **PIB REAL:** "es la producción de bienes y servicios finales producidos en un país pero a precios constantes, es decir, el PIB real elimina el cambio de los precios a lo largo de los años, mientras que el PIB nominal o a precios corrientes sí refleja estos cambios anuales, ya sean incrementos (inflación) o disminuciones (deflación)".

Por medio de la transformación se aíslan los cambios ocasionados en los períodos (inflación) y permite comparar la producción real de un país en períodos de tiempo diferentes, aspecto que se requiere para poder aplicar el índice de Divisia comparando períodos distintos.

Tomando en cuenta lo anterior, es necesario que el lector aplique lo siguiente para poder dejar todo en base a un año determinado, en este caso, dado que se posee el dato del deflactor del PIB con año base 2008¹⁹, se facilitan los cálculos y se obtiene el valor real del dinero.

$$Deflactor_{año}^{año base} = \left(\frac{PIB_{año}^{nominal}}{PIB_{año}^{real, año base}} \right) 100 \quad (41)$$

$$PIB_{año}^{real, año base} = \left(\frac{PIB_{año}^{nominal}}{Deflactor_{año}^{año base}} \right) 100 \quad (42)$$

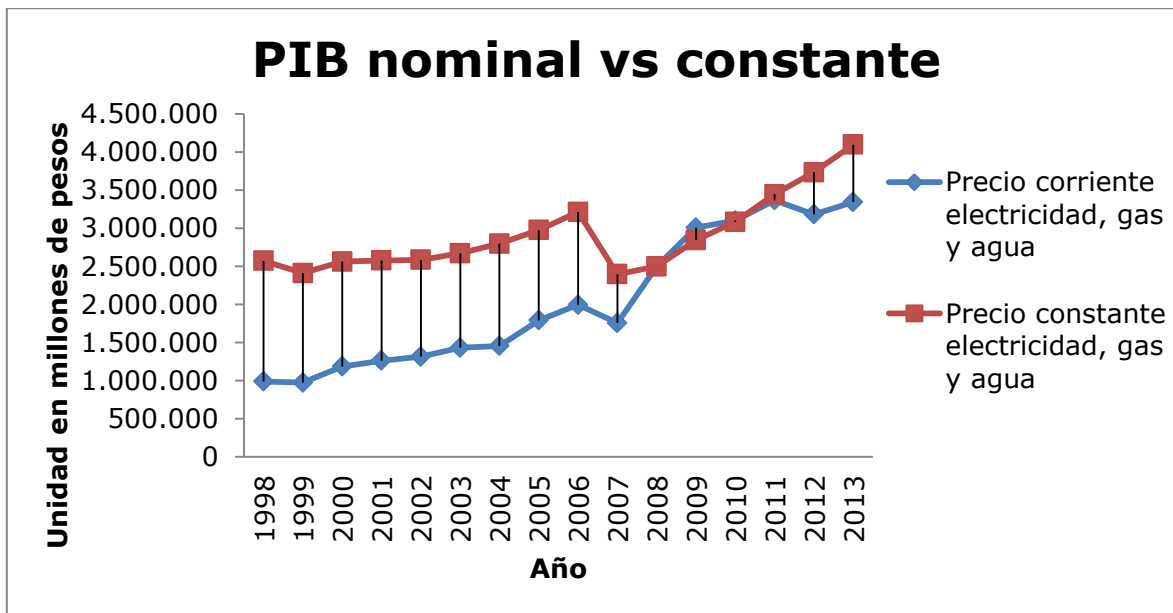
De este modo es posible transformar la base de datos con los PIB nominales a los reales y lograr consistencia en los datos.

En la **Figura 3** se puede observar la diferencia (en millones de millones de pesos) que existe entre el PIB a precio corriente y a precio constante con **base en el año 2008**, para la actividad "Electricidad, gas y agua" para el período entre 1998 y 2013.

¹⁸ Para mayor información visitar Economy blogs <http://economy.blogs.ie.edu/archives/2013/02/que-es-el-pib-nominal-que-es-el-pib-real.php#sthash.6HiCNBzQ.dpuf>

¹⁹ Cuentas Nacionales Banco Central, Datos Estadísticos.

Figura 3. PIB nominal vs PIB a precio constante



Fuente: Elaboración propia

De este modo los cálculos de los efectos que evalúan la evolución del consumo de energía final son coherentes.

10.3.2 BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA (BNE)

Se utiliza además, el consumo final de energía secundaria para cada sector (Transporte, industrial y minero, comercial, público y residencial), para esto se requieren las bases de datos provenientes de la Comisión Nacional de Energía, en las que se encuentra el detalle (por combustible, sector y sub-sector) del consumo sectorial.

En este caso no es necesario realizar ningún tipo de transformación a los datos, lo único que se debe tomar en cuenta es que al no poseer los mismos sub sectores en el PIB, se utilizan las fórmulas para los sectores agregados.

Los **sectores** con sus respectivos sub-sectores son los siguientes:

TRANSPORTE

- i. *Caminero*
- ii. *Ferroviario*
- iii. *Marítimo*
- iv. *Aéreo*

INDUSTRIAL Y MINERO

- i. *Cobre*
- ii. *Salitre*
- iii. *Hierro*
- iv. *Papel y Celulosa*
- v. *Siderurgia*
- vi. *Petroquímica*
- vii. *Cemento*
- viii. *Azúcar*
- ix. *Pesca*
- x. *Industrias Varias*
- xi. *Minas Varias*

COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL

- i. *Comercial*
- ii. *Público*
- iii. *Residencial*

En este caso es importante recordar que mientras más nivel de desagregación se pueda considerar, los resultados debiesen presentar una mejor consistencia, sin embargo dada la diferencia estructural entre el PIB por clase de actividad económica y los Balances de Energía, se asume la transformación mencionada en la sección anterior, tomando en cuenta la suma de las clases de actividad.

11 ANÁLISIS Y RESULTADOS

11.1 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN ECONÓMICA POR SECTOR

Los períodos estudiados en esta tesis se escoge utilizando como eje principal las restricciones de GNL de Argentina, separando los años en períodos de aproximadamente 5 años. Éstos son:

1. 1998 - 2004, 2004 - 2008, 2008 - 2013

2. 1998 - 2004, 2004 - 2010, 2010 - 2013

El primero se utiliza para aplicar las fórmulas del LMDI para los sectores agregados, y el segundo para la desagregación de estos.²⁰

A continuación se describen los trece componentes del PIB de Chile, a modo de tener antecedentes para los períodos seleccionados. Los sub sectores son:

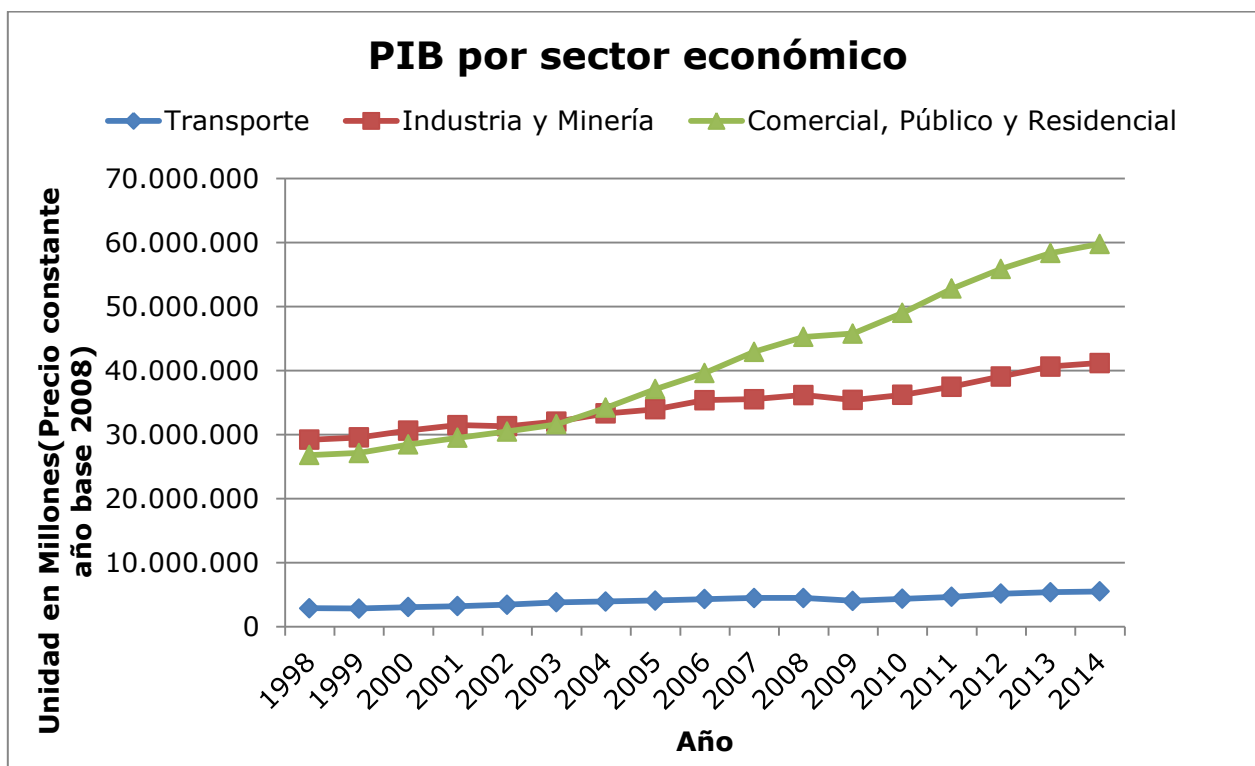
- i.** Agropecuario - silvícola
- ii.** Pesca
- iii.** Minería: Se conforma por Minería del Cobre y Otras actividades mineras
- iv.** Industria Manufacturera: Se conforma por Alimentos, bebidas y tabaco, Textil, prendas de vestir, cuero y calzado, Maderas y Muebles, Celulosa, papel e imprentas, Química, petróleo, caucho y plástico, Minerales no metálicos y metálica básica, Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto.
- v.** Electricidad, gas y agua
- vi.** Construcción
- vii.** Comercio, restaurantes y hoteles
- viii.** Transporte
- ix.** Comunicaciones
- x.** Servicios financieros y empresariales
- xi.** Servicios de vivienda
- xii.** Servicios personales
- xiii.** Administración pública

En la **Figura 4** se puede notar que el sector Industrial y Minero se ubica por sobre el Comercial, Público y Residencial (CPR) hasta el año 2004,

²⁰ Se descompone el sector Transporte según kilómetros - pasajero, el sector Industria y Minería según combustibles, el Residencial según población total, número de hogares y superficie edificada.

desacoplándose y logrando una diferencia de aproximadamente **20.000.000.000.000 \$CLP²¹** para el año 2014.

Figura 4. PIB por sector económico con año base 2008



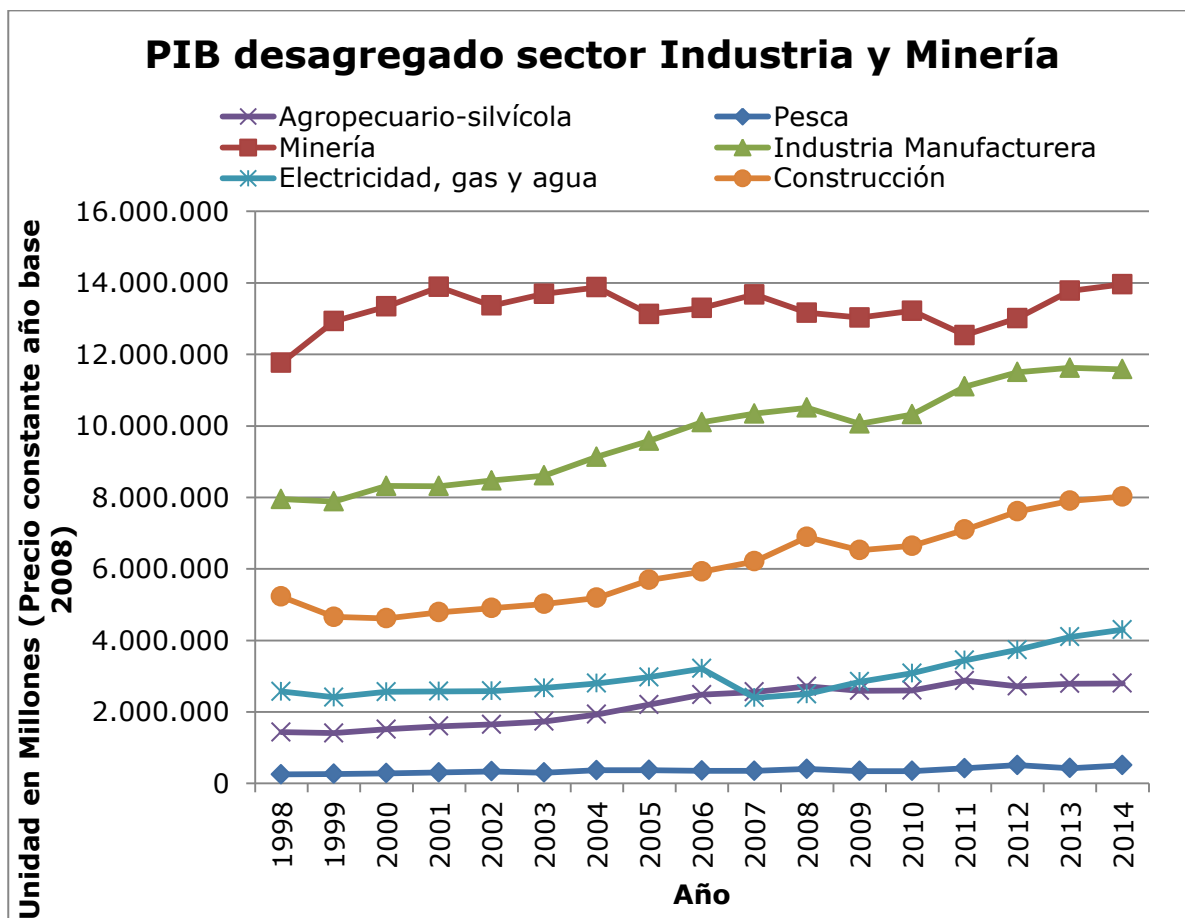
Fuente: Elaboración propia

Es necesario destacar a su vez que los dos sectores recién mencionados presentan un nivel de producción (en millones de pesos chilenos), mucho mayor al del sector Transporte, pudiendo atribuirse esto a que Industria y Minería y CPR contienen una serie de sub sectores que contribuyen a una producción agregada.

A continuación se presentan los cambios desagregados, detallándose en primer lugar el sector Industrial y Minero, conformado por Agropecuario, silvícola, Minería, Industria Manufacturera, Electricidad, gas y agua y finalmente Construcción.

²¹ El lector debe notar que los valores presentes en los gráficos están en unidad de millones, esto significa que se debe multiplicar cada valor por \$1.000.000.

Figura 5. PIB sector Industria y Minería



Fuente: Elaboración propia

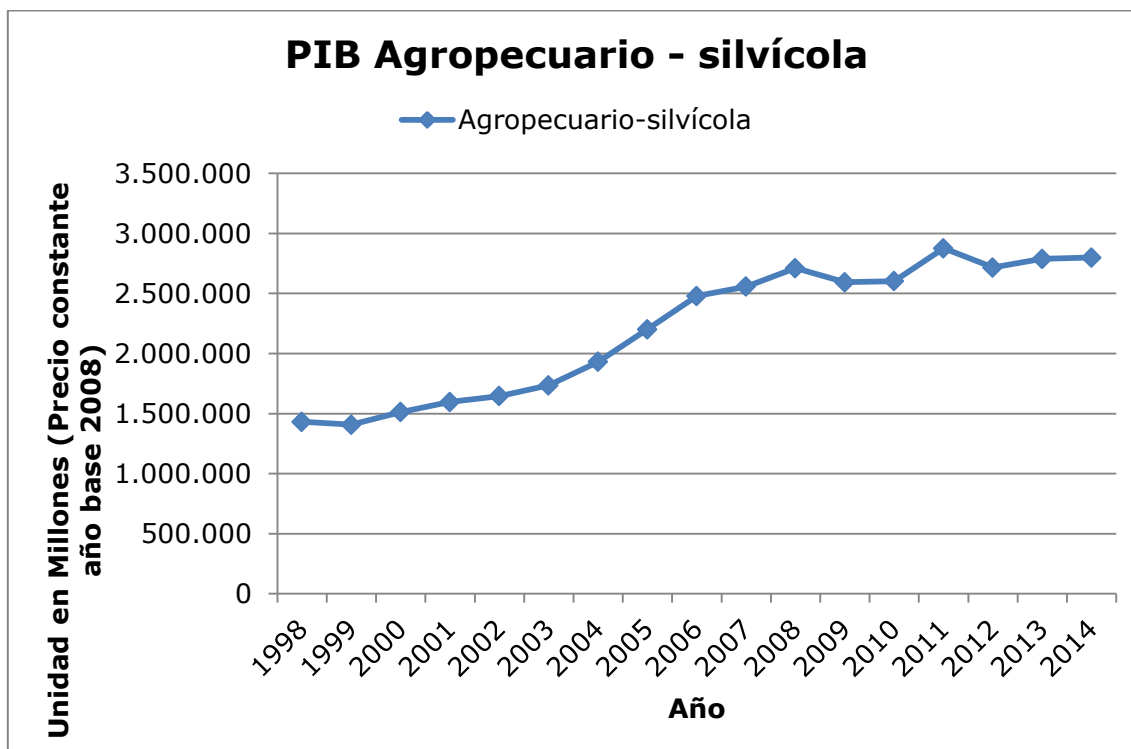
En la **Figura 5** se puede observar cómo se comporta cada sub sector a través del tiempo, siendo la minería la que posee mayor niveles de producción.

AGROPECUARIO-SILVÍCOLA

Como se puede observar en la **Figura 6**, en cuanto al rubro Agropecuario - silvícola ha tenido un crecimiento paulatino entre el año 1998 al 2008, quedando estancado hasta el año 2014. Para el primer período mencionado se puede atribuir esta alza al aumento en los cultivos anuales. Por otro lado la actividad frutícola se ve impulsada altamente por las exportaciones de fruta fresca en el mismo período, cerrando el año 2004 con cifras record y continuando su alza. Para la actividad pecuaria se consolida la recuperación de aves posterior a la influenza aviar en temporadas previas al año 2004. Sin embargo entre el año 2006 y 2010 se mantiene una estabilidad en cuanto a

materia de producción, aumentando el dinamismo de la agricultura. Se ve afectada la actividad frutícola por la baja producción de uva y problemas climáticos asociados, junto con una disminución en la producción de carne para el rubro pecuario. Finalmente en el período entre el año 2008 y 2014 se provoca una contracción en cuanto a producción, en comparación a años anteriores, creciendo un 0.4% respecto del año 2013.

Figura 6. PIB sub sector Agropecuario - Silvícola



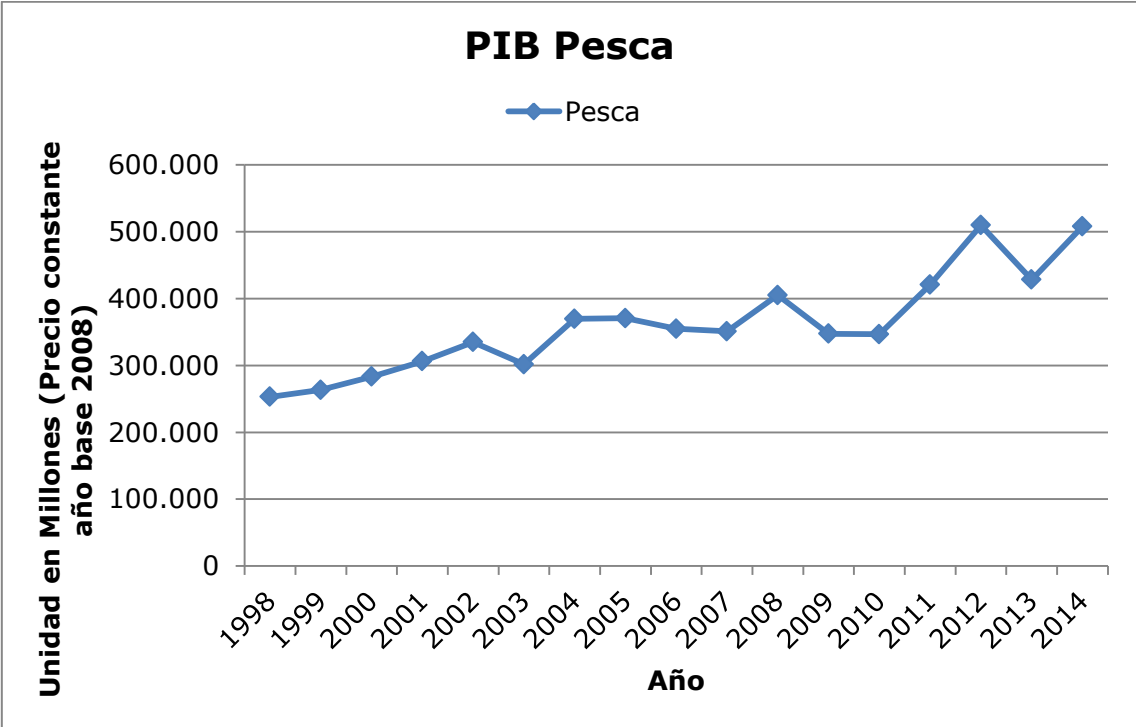
Fuente: Elaboración propia

PESCA

Esta actividad presenta un crecimiento positivo en lo que corresponde al período comprendido entre 1998 y 2004, tal y como se aprecia en la **Figura 7**, producto del aumento fuerte en las capturas de las principales especies pelágicas, las cuales representan el 80% de la pesca extractiva (año 2004), así como también el alto dinamismo de los centros de cultivo. Desde el año 2004 hasta el 2008 se presenta una caída debido a la contracción de los centros de cultivo y de la pesca extractiva. La caída de la sub actividad refleja los efectos de la crisis sanitaria que afecta en el período a la salmonicultura, disminuyendo la producción. Con respecto al último período

de evaluación (2008 - 2013), en la primera mitad la sub actividad se ve fuertemente impactada por las consecuencias del terremoto, dados los destrozos y la relevancia de la zona en la extracción y procesamiento de las especies pelágicas. Sin embargo para la segunda mitad el sector pesca logra aumentar producto del buen desempeño de la pesca extractiva.

Figura 7. PIB sub sector Pesca



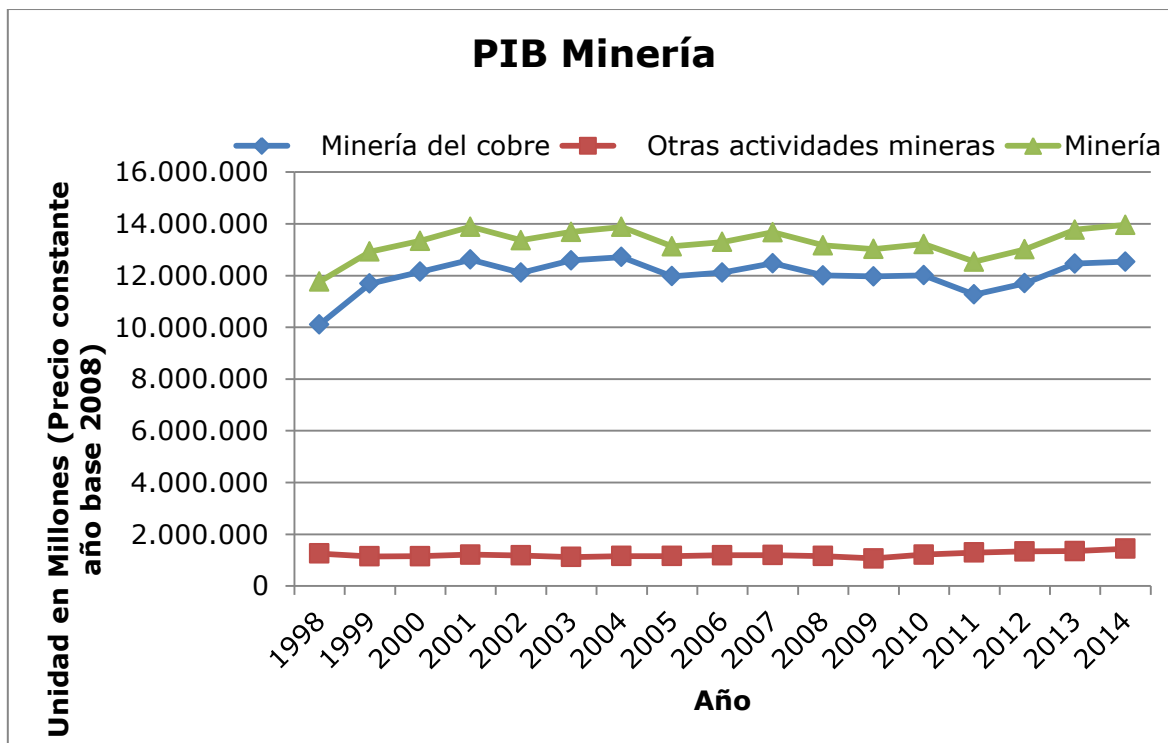
Fuente: Elaboración propia

MINERÍA

En la **Figura 8** se puede apreciar que para el primer período (1998 - 2004) la minería presenta un alza constante, principalmente gracias a la puesta en marcha de muchos proyectos de gran envergadura de la minería privada del cobre. Para el segundo período de evaluación (2004 - 2008), se presenta crecimiento de la industria (en menor magnitud que en el primero) gracias nuevamente a la producción de cobre, en cuanto a las otras actividades mineras, se presenta una contracción principalmente del oro, plata y yodo, y un aumento en la producción de hierro. Por último en lo que corresponde al período comprendido entre el año 2008 y 2014, se presenta un crecimiento moderado como sector (1,3% entre 2009 y 2014), esto se ve reflejado producto de un bajo crecimiento en la producción de cobre y un importante

aumento en la de hierro gracias a un nuevo yacimiento que entra en operación. A su vez se puede sumar al efecto el aumento (en menor proporción que el hierro) del carbón y petróleo. En contraste se contraen las producciones de minerales metálicos y no metálicos.

Figura 8. PIB sub sector Minería



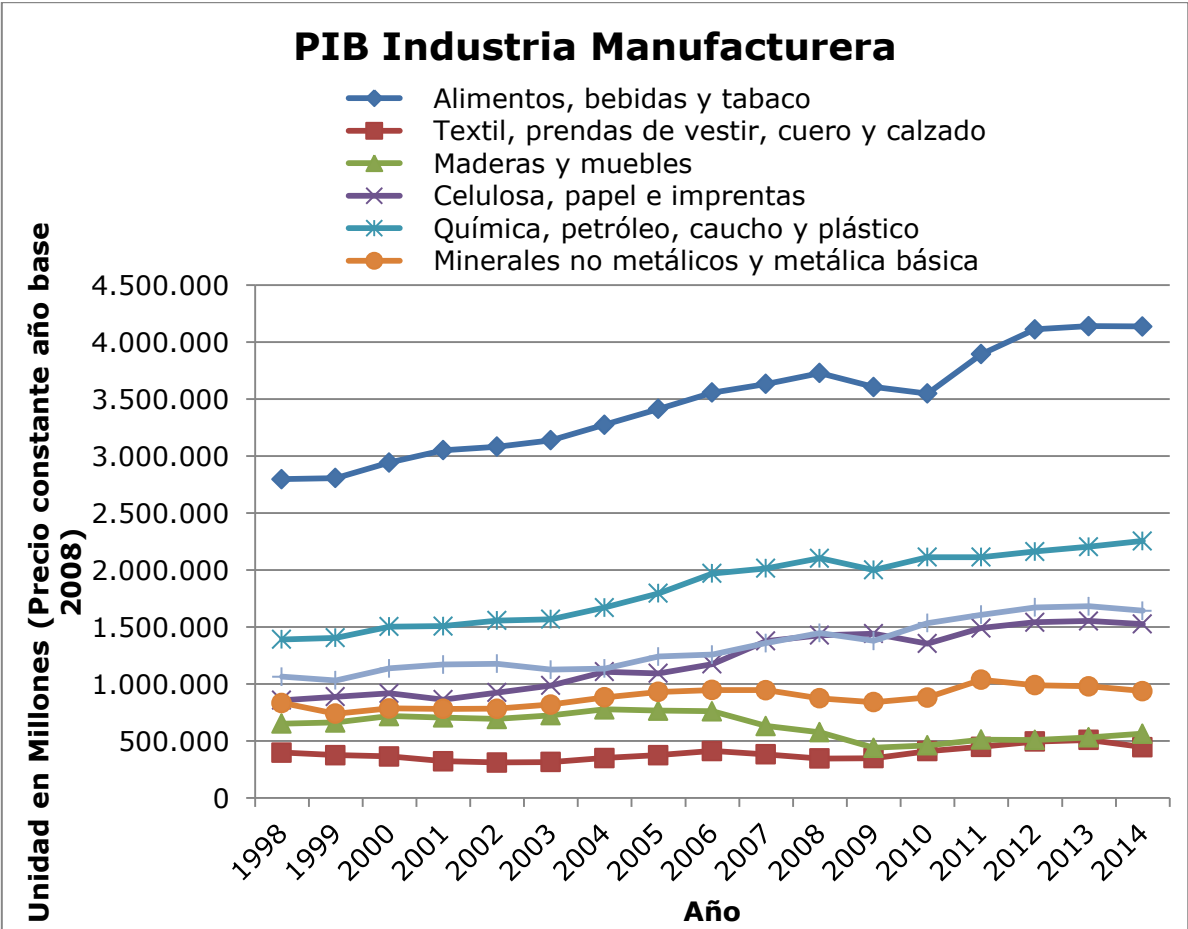
Fuente: Elaboración propia

INDUSTRIA MANUFACTURERA

Corresponde al sector con mayor incidencia sobre la tasa de crecimiento del PIB para el año 2004 (ver **Figura 9**). En cuanto a la actividad que más contribuye al período se encuentra la industria de alimentos, bebidas y tabaco, a través de la harina de pescado, carne de ave y azúcar. Junto con esto se suma también el aporte de las industrias del papel y celulosa, química, minería de metales y no metales básicos, siendo un período positivo en cuanto a crecimiento de producción. Posteriormente es válido mencionar que el crecimiento se contrae, destacándose principalmente el período 2004 - 2010 producto de las consecuencias traídas por el terremoto ocurrido en 2009, afectando al rubro en cuanto a las ramas "Elaboración de combustibles", "Fabricación de papel" e "Industria pesquera", disminuyendo

su producción posterior al evento sísmico y normalizando sus actividades durante el mismo año del evento. Se contrae también la refinería de combustibles, en particular de petróleo diésel y gasolina. Cae también la industria de la celulosa, afectada por los efectos post terremoto y por mantenciones programadas. Baja la producción de harina de pescado en lo que compete a la industria pesquera principalmente producto del impacto del evento sísmico del año 2009 sobre las plantas pesqueras. Sin embargo se destaca un aumento en la producción de "Bebidas y tabaco" y "Productos metálicos, maquinaria y equipos". Finalmente para el período de 2010 - 2014 las líneas que más se destacan son "Alimentos" y "Combustibles", impulsadas por un mayor dinamismo y contribución al sector. Se contraen en este período las ramas de "Bebidas y tabaco" y "Productos metálicos, maquinaria y equipos" dada la disminución en la producción de vinos y a la menor producción de metales utilizados en construcciones, a diferencia del período que lo precede en el cual se aprecia una contribución positiva.

Figura 9. PIB sub sector Industria Manufacturera

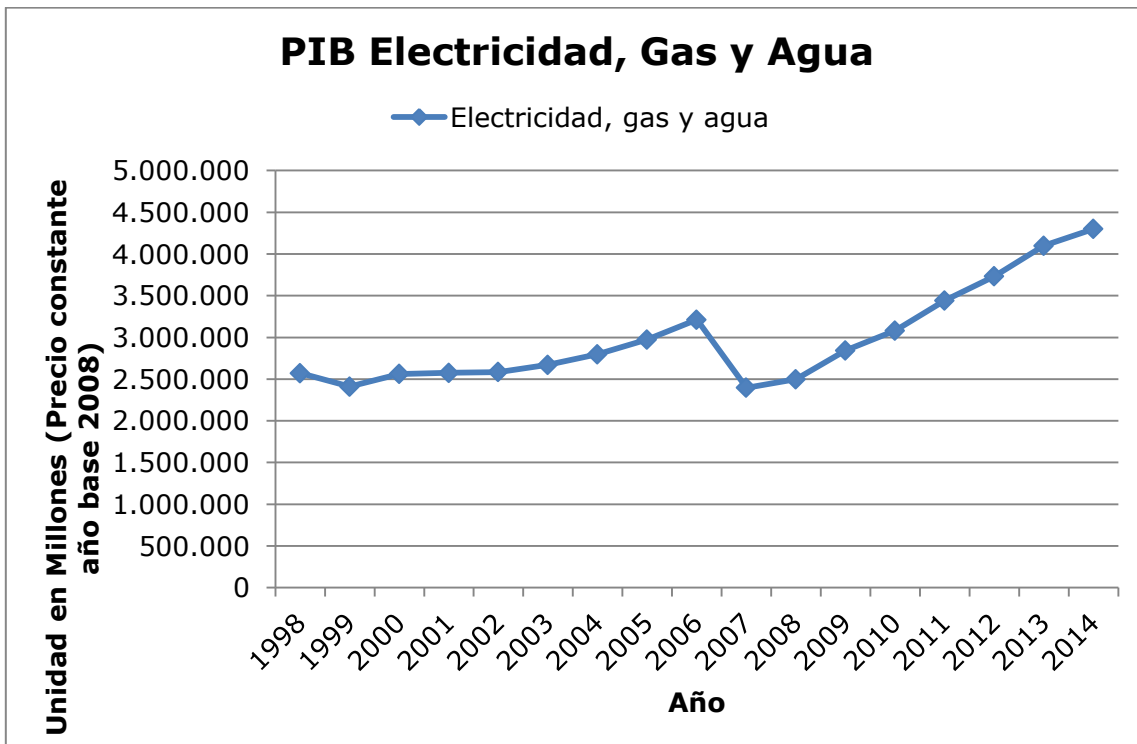


Fuente: Elaboración propia

ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA

Se presenta una tasa de crecimiento constante para el período comprendido entre 1998 y 2004 (ver **Figura 10**), contribuyendo en principal medida la generación eléctrica. Sin embargo la composición de esta se ve afectada por las restricciones de gas natural proveniente de Argentina. Esto afecta en que se registra una disminución en la generación de las centrales de ciclo combinado y un aumento en la actividad de las centrales que funcionan con carbón y diésel. En cuanto a las actividades de gas y agua se presenta un aumento el año 2004 en comparación al 2003. Para el período comprendido entre 2004 - 2010, hay un incremento en la sub actividad de gas que se explica por la regasificación del gas natural licuado, proyecto que se inicia en el cuarto semestre de 2009 en las plantas de Quintero y Mejillones. Finalmente entre el año 2010 y 2014 hay un incremento en la hidroelectricidad gracias a las precipitaciones del año hidrológico 2014 - 2015 y a la incorporación de nuevas centrales, tanto de embalse como de pasada. Disminuye sin embargo la energía generada en base a combustibles.

Figura 10. PIB sub sector Electricidad, Gas y Agua

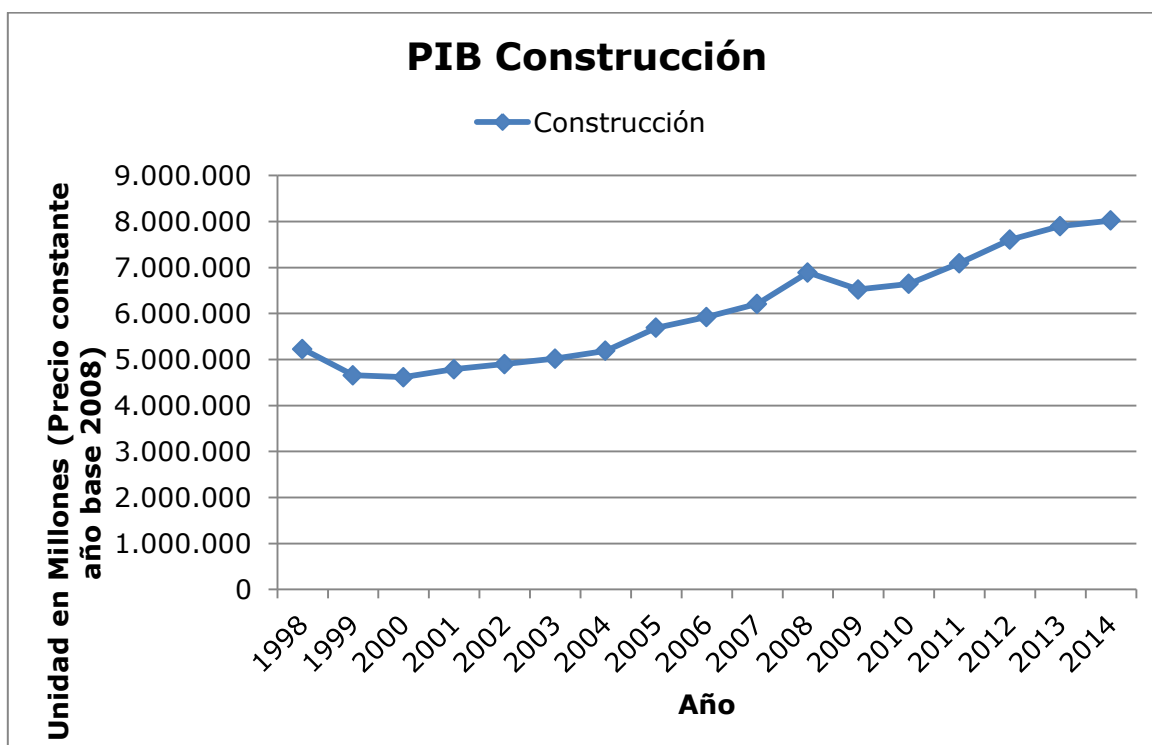


Fuente: Elaboración propia

CONSTRUCCIÓN

Para el período comprendido entre 1998 - 2014 se puede apreciar un crecimiento debido al dinamismo de la edificación (ver **Figura 11**). En lo que respecta a obras de ingeniería, se adjudica un menor dinamismo producto del término de la construcción de importantes proyectos mineros y complejos forestales. En el período entre 2004 y 2010 se tiene un crecimiento mayor gracias a un aumento en la edificación, se suma además el alto desempeño en la subactividad de reparaciones y demoliciones, la cual crece de manera excepcional como consecuencia del gasto efectuado por los agentes tras el terremoto. Existe, sin embargo una serie de efectos negativos en los primeros trimestres del período, los que se deben principalmente a una menor inversión en el sector energético, ferrocarril urbano e infraestructura pública. Por último entre el año 2010 y 2014 la tasa de crecimiento alcanza un 1.5% (2014 versus 2013), mostrando una tendencia decreciente en el tercer trimestre del período. La principal componente que impulsa la actividad es la de obras de ingeniería.

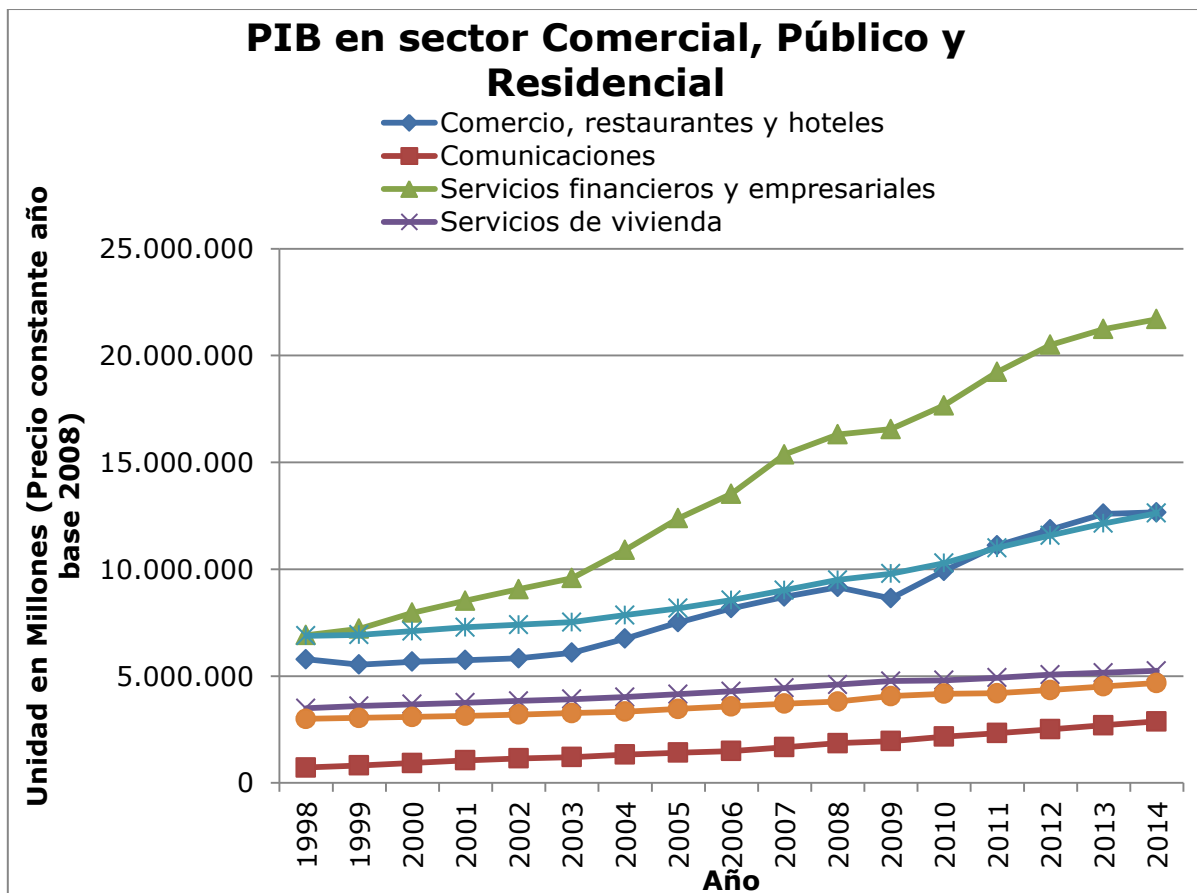
Figura 11. PIB sub sector Construcción



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sector Comercial, Público y Residencial es importante descomponerlo en todas sus componentes para poder verificar el comportamiento de estas durante el lapso a evaluar, esto se puede ver en la **Figura 12**

Figura 12. PIB sector Comercial, Público y Residencial



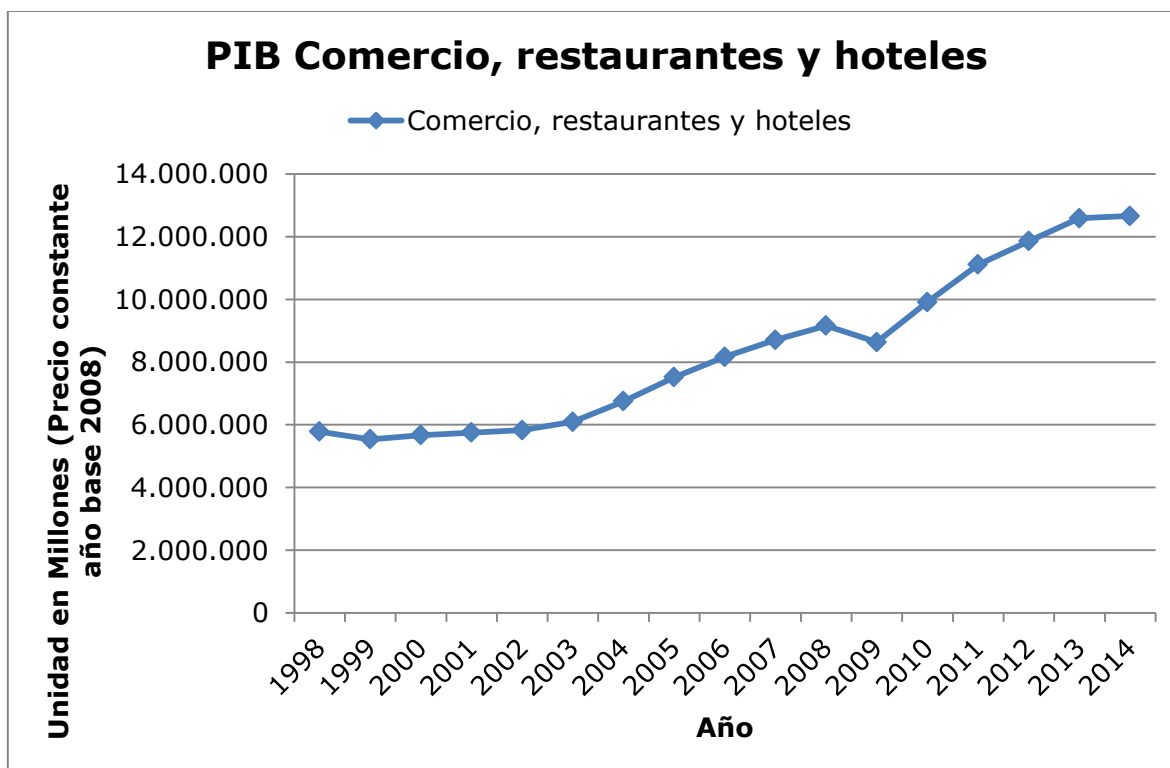
Fuente: Elaboración propia

COMERCIO, RESTAURANTES Y HOTELES

Para el período entre el año 1998 al 2010 se observa un aumento bastante considerable en el rubro (ver **Figura 13**). Este incremento proviene principalmente de la actividad de Comercio que determina el resultado del sector, liderada por la componente minorista y seguido por las ventas mayoristas. En cuanto a las ventas mayoristas estas se expanden fuertemente en todas sus variantes, destacándose la maquinaria y equipos y las importaciones de estos bienes. El mayor dinamismo se registra en materiales de construcción (venta) asociado principalmente al proceso de reconstrucción posterior al terremoto del año 2009. Cabe destacar que la actividad Comercial cae entre el primer trimestre y el tercero del año 2009.

Finalmente entre el año 2010 a 2014 se logra estabilizar el crecimiento marginal, y el resultado se ve reflejado en el dinamismo del comercio minorista, el cual viene a compensar las caídas en la venta automotriz y del mercado mayorista.

Figura 13. PIB sub sector Comercio, Restaurantes y Hoteles

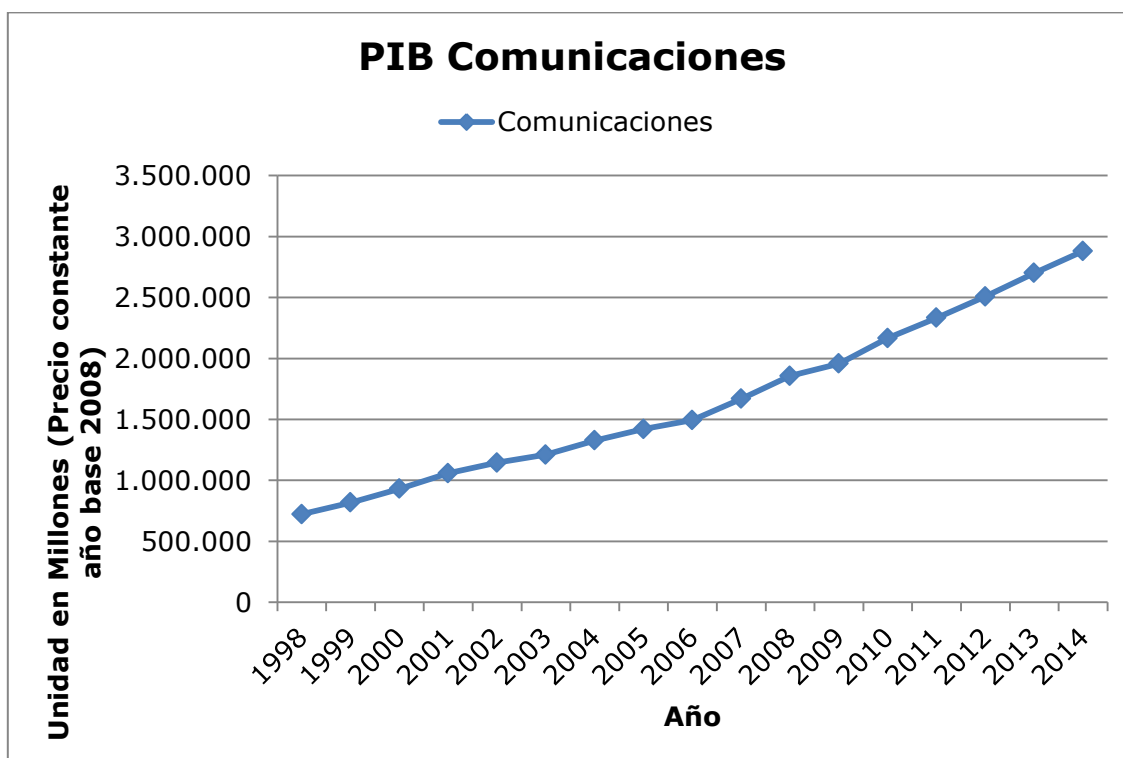


Fuente: Elaboración propia

COMUNICACIONES

Presenta un crecimiento constante entre el año 2004 al 2010 (ver **Figura 14**) debido principalmente a la telefonía móvil, impulsada por la modalidad de prepago principalmente, disminuyendo los métodos tradicionales de comunicación, como correo, telefonía a larga distancia y fija. Para el último período entre 2010 y 2014 mantiene su crecimiento predominando igual que en el anterior, la telefonía móvil con la mensajería por voz a través de internet y los servicios de TV cable e internet que pasan a posicionarse en un lugar alto. Se aumenta marginalmente el aporte por el servicio de correos.

Figura 14. PIB sub sector Comunicaciones



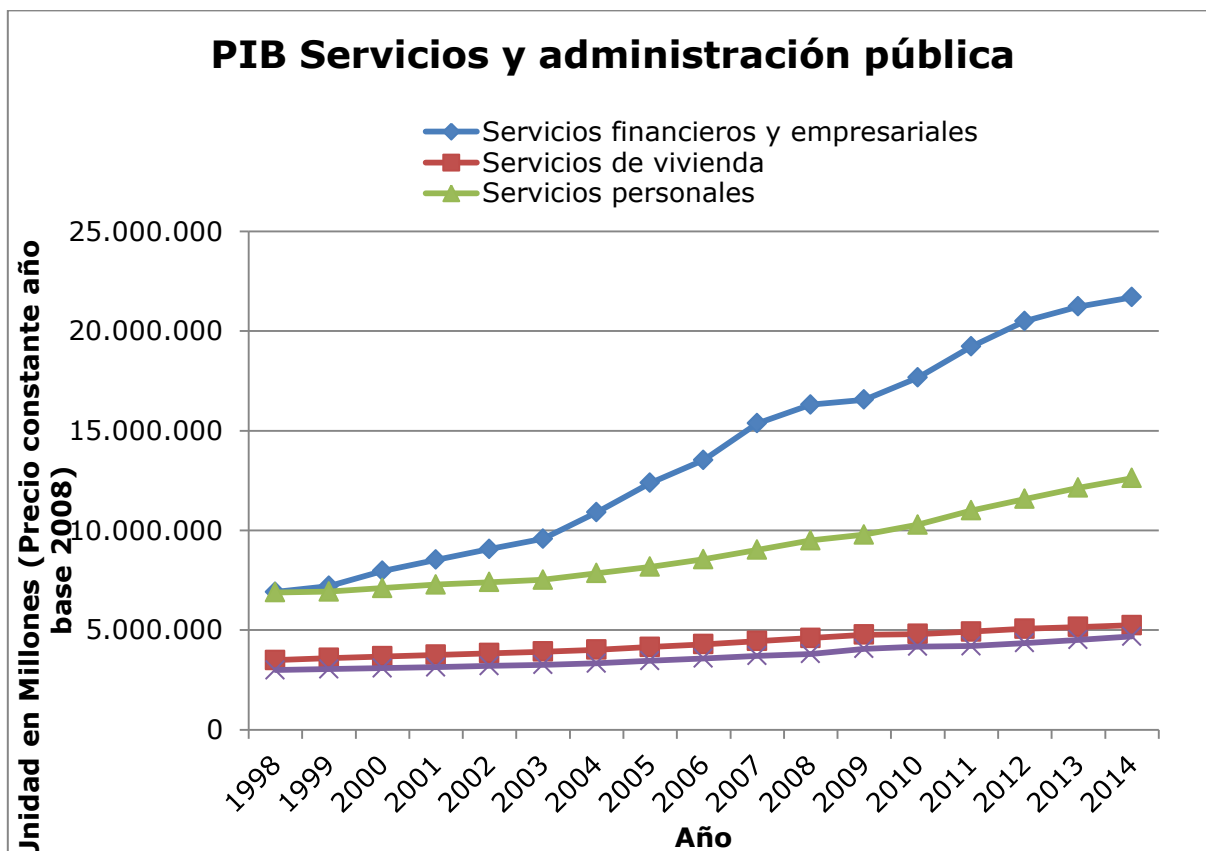
Fuente: Elaboración propia

SERVICIOS Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA

Presentan un alza relativamente constante para todo el horizonte temporal. Para el período entre el año 2008 - 2014 se destaca el aumento en las actividades jurídicas, de contabilidad y gestión como las primeras en cuanto a contribución al PIB, se aprecia también (en menor medida) un aumento en actividades inmobiliarias. Se puede agregar también un aporte negativo en lo que respecta a actividades de arquitectura e ingeniería, publicidad e investigación de mercado y servicios de alquiler de maquinaria y equipo. En cuanto a los servicios personales, estos incrementan gracias a los servicios de salud en mayor aporte, seguido de los servicios de educación y resto de servicios.

Finalmente en cuanto al sector Transporte se puede observar su cambio para el período de evaluación mencionado en apartados anteriores.

Figura 15. PIB Servicios y Administración Pública



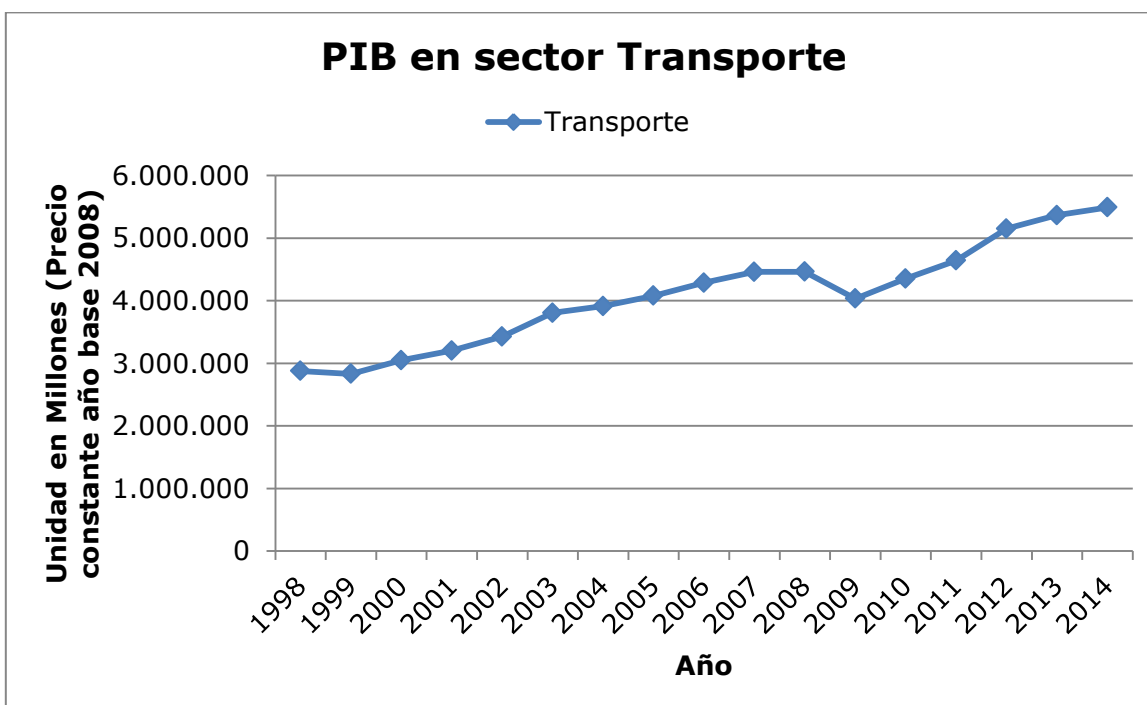
Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el análisis del último sector agregado pertinente al análisis.

TRANSPORTE

El sector Transporte tal y como se presenta en apartados anteriores, no presenta otros sub - sectores agregados, por lo que su análisis ronda únicamente en los valores de PIB presentados en la **Figura 16**.

Figura 16. PIB sector Transporte



Fuente: Elaboración propia

En el primer tramo del período (1998 - 2004) se observa un incremento de un 5.6% gracias al dinamismo de los sectores que requieren del servicio de este y por la expansión del comercio exterior, se destaca el transporte caminero y marítimo. Con respecto al período 2004 - 2010 se aprecia un incremento al final del trimestre del año 2010, gracias al dinamismo en los distintos tipos de transporte (camino, marítimo y aéreo), en lo que respecta a transporte de carga y pasajeros. Se tiene un efecto negativo en el transporte ferroviario. Se destaca en este período el transporte caminero en lo que lleva a la demanda del sector Comercial y su contribución en la importación - exportación de bienes. Finalmente para el período 2010 - 2014 el transporte caminero de carga y marítimo caen. Se destacan por su alza los servicios conexos a nivel general en todas sus líneas, exceptuando puertos, así como también el transporte interurbano de pasajeros y aéreo, dada el alza de viajes internacionales y el aumento de tráfico general.

Como se aprecia en la **Tabla 2**, existe una gran variabilidad en cuanto al incremento porcentual de la producción por sub - sector en Chile, esto tomado en cuenta utilizando como años de comparación el año 1998 y 2013. Es lógico concluir que de las alzas más significativas se encuentren en Comunicaciones y Servicios Financieros y Empresariales, esto producto del

avance tecnológico en cuanto a los servicios de telecomunicaciones, la apertura e inclusión de nuevas compañías dedicadas a ofrecer el servicio, así como también el mayor acceso por parte de la población a estos, se destaca también el auge en la cantidad de compañías creadas entre el período señalado y el aumento en la oferta de servicios financieros gracias a la llegada de nuevas instituciones bancarias y sistemas de crédito.

Tabla 2. Evolución del PIB de Chile entre 1998 y 2013

N°	Descripción/Año	1998 (\$MM)	2013(\$MM)	Cambio en 2013 comparado con 1998 (%)
1	Agropecuario-silvícola	1431447	2788952	95
2	Pesca	253108	428263	69
3	Minería	11762275	13775504	17
4	Minería del cobre	10105481	12459457	23
5	Otras actividades mineras	1259267	1351758	7
6	Industria Manufacturera	7951047	11621725	46
7	Alimentos, bebidas y tabaco	2798448	4140987	48
8	Textil, prendas de vestir, cuero y calzado	397945	509864	28
9	Maderas y muebles	652343	531659	-19
10	Celulosa, papel e imprentas	857267	1552846	81
11	Química, petróleo, caucho y plástico	1391901	2204868	58
12	Minerales no metálicos y metálica básica	833715	980108	18
13	Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto	1064082	1682701	58
14	Electricidad, gas y agua	2572137	4097725	59
15	Construcción	5226335	7902125	51
16	Comercio, restaurantes y hoteles	5781042	12589906	118
17	Transporte	2876912	5365686	87
18	Comunicaciones	721664	2701340	274
19	Servicios financieros y empresariales	6913557	21236113	207
20	Servicios de vivienda	3492272	5153815	48
21	Servicios personales	6885790	12144289	76
22	Administración pública	2998226	4515306	51
24	Derechos de Importación	200849	660505	229
25	Producto Interno Bruto	62530098	114260687	83

Fuente: Elaboración propia

Junto con esto es importante mencionar que así como las tecnologías avanzan, esto permite a la industria seguir creciendo, destacándose dentro

del sector industrial y manufacturero, alimentos, bebidas y tabaco (48%), celulosa, papel e imprentas (81%), Química, petróleo, caucho y plástico (58%) y Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto (58%).

11.2 ANÁLISIS DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA CHILENA

En cuanto a la diferencia en consumo, se puede apreciar en la **Tabla 3** cómo el sector que más ha crecido en los últimos 17 años es el Industrial y Minero, impulsado principalmente por el aporte de la industria petroquímica, papel y celulosa y la evolución en la extracción y producción de la industria minera, destacándose principalmente la extracción de cobre.

Tabla 3. Evolución del consumo energético entre 1998 y 2013

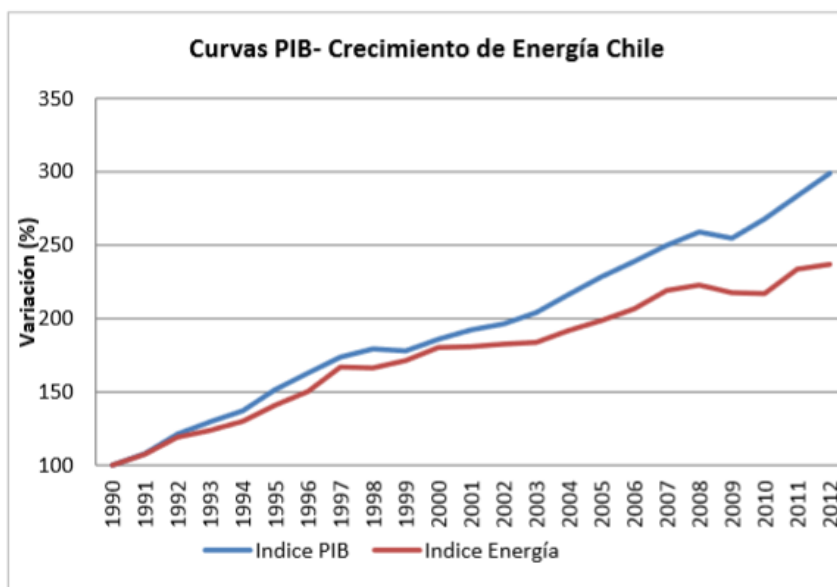
Comparación Consumo energético (Tcal)	1998	2013	Cambio en 2013 comparado con 1998 (%)
Total Transporte	65826	93910	43
Caminero	49443	77031	56
Ferrovionario	229	534	133
Marítimo	8946	6892	-23
Aéreo	7208	9453	31
Total Industrial y Minero	66673	105725	59
Cobre	15256	34752	128
Salitre	1214	2062	70
Hierro	1185	851	-28
Papel y Celulosa	8664	22944	165
Siderurgia	4766	438	-91
Petroquímica	752	3434	357
Cemento	2193	3008	37
Azúcar	1401	774	-45
Pesca	1858	2399	29
Industrias Varias	24590	32245	31
Minas Varias	4794	2818	-41
Total Comercial Público, Residencial	50431	75112	49
Comercial	4043	11752	191
Público	1487	3004	102
Residencial	44901	60356	34

Fuente: Elaboración propia

Existe un incremento en el consumo final de los tres sectores agregados, correspondientes a un 43%, 59% y 49% en Transporte, Industria y Minería y CPR, respectivamente.

Además de esto se puede observar en la **Figura 17**, que existe una correlación entre las tasas de crecimiento económico y del consumo energético, es decir, existe un acople entre estas. La idea es poder lograr el desacople de ambas, tal y como ocurre en la **Figura 18**.

Figura 17. Curvas PIB - Crecimiento del consumo energético en Chile

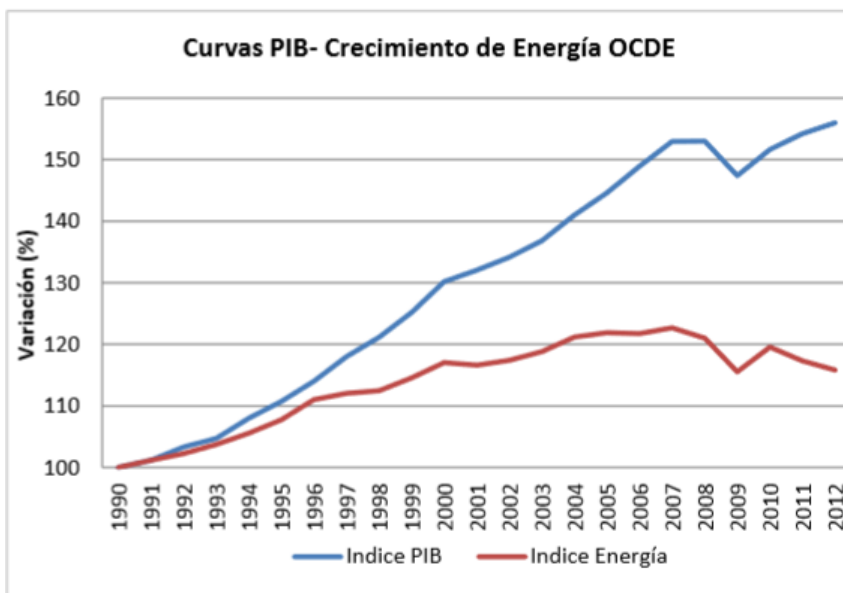


Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Energía y Medioambiente

A diferencia de Chile, en Estados Unidos, han logrado mediante un uso adecuado y medidas de optimización del consumo desacoplar las curvas expuestas anteriormente.

Tomando en cuenta los antecedentes recién presentados, se espera que el lector pueda entrar en contexto con lo que conlleva a contribuir la utilización de métricas de evaluación sobre el consumo de energía final.

Figura 18. Curvas PIB - Crecimiento del consumo energético OCDE



Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Energía y Medioambiente

11.2.1 PERÍODOS DE EVALUACIÓN: ANTECEDENTES IMPORTANTES

Para el período temporal sobre el que se aplican las fórmulas del LMDI I existen una serie de acontecimientos clave, ya sea en materia institucional como de sucesos macroeconómicos, es por esto que a continuación se presenta una separación en grupos de los años sobre los que se trabajan los datos y de este modo se tenga un lineamiento más concreto sobre el punto de partida del trabajo realizado.

El trabajo de datos se realiza desde el año 1998, que es de donde se parte con la información necesaria para la descomposición.

11.2.1.1 2004 - 2008: CRISIS DEL GAS NATURAL Y PROGRAMA PAÍS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Un período importante a tomar en cuenta es el que engloba lo ocurrido entre los años 2004 y 2008, caracterizándose principalmente por el corte del gas proveniente de Argentina, afectando gravemente la matriz energética chilena, a continuación se describen los principales hitos del período:

- Dados los procesos de desregulación y privatización del sector eléctrico durante la década de los 80, el mercado queda con libertad total de acción para poder decidir sobre proyectos de generación.
- En el año 2004 comienzan las restricciones del gas natural provenientes de Argentina, desatando una fuerte crisis en la generación eléctrica de Chile.
- En 2004 Chile aspira a pertenecer a la OCDE, frente a lo cual el grupo en conjunto a la CEPAL lleva a cabo una evaluación de desempeño ambiental del país, "Environmental Performance Review: Chile".
- Mal posicionamiento de Chile para el año 2004, en comparación al resto de países pertenecientes a la OCDE, los cuales para los años 70 ya poseían diversas instituciones destinadas a la aplicación de políticas de Eficiencia Energética.
- Creación del Programa País de Eficiencia Energética en el año 2005.
- Nombramiento del Ministro Presidente de la Comisión Nacional de Energía, con objeto de sentar las bases de una política de Eficiencia Energética en Chile.
- PPEE pasa a ser independiente, política y presupuestariamente, de la CNE para el año 2008.
- Comisión Nacional de Energía lanza el documento "Política de Energía: Nuevos Lineamientos", posicionando a la Eficiencia Energética como uno de sus ejes principales.

11.2.1.2 2009 - 2013: NUEVA INSTITUCIONALIDAD Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El período comprendido entre el año 2009 y 2013 se caracteriza por la creación de la nueva institucionalidad energética y además por los esfuerzos del actual Gobierno de Chile en materia de Eficiencia Energética:

- Resultados de estudios contratados gracias al apoyo y preocupación de los políticos, que indican que es recomendable la creación de una personalidad jurídica de derecho privado sin fines de lucro con participación directa de representantes del sector privado en el directorio.
- Discusión de incorporación de la ley 20.402 para la creación del Ministerio de Energía, incluyendo indicación para la creación de una Agenda de Eficiencia Energética.
- PPEE licita en el año 2009 la elaboración de un Plan Nacional de Eficiencia Energética.
- Diseño de PNAEE entre Agosto de 2009 y 2010.
- Creación del Ministerio de Energía en el año 2010, con 7 divisiones, entre ellas la División de Eficiencia Energética.
- Entrada en operación en 2010 de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, creada por decreto en Marzo de 2010.

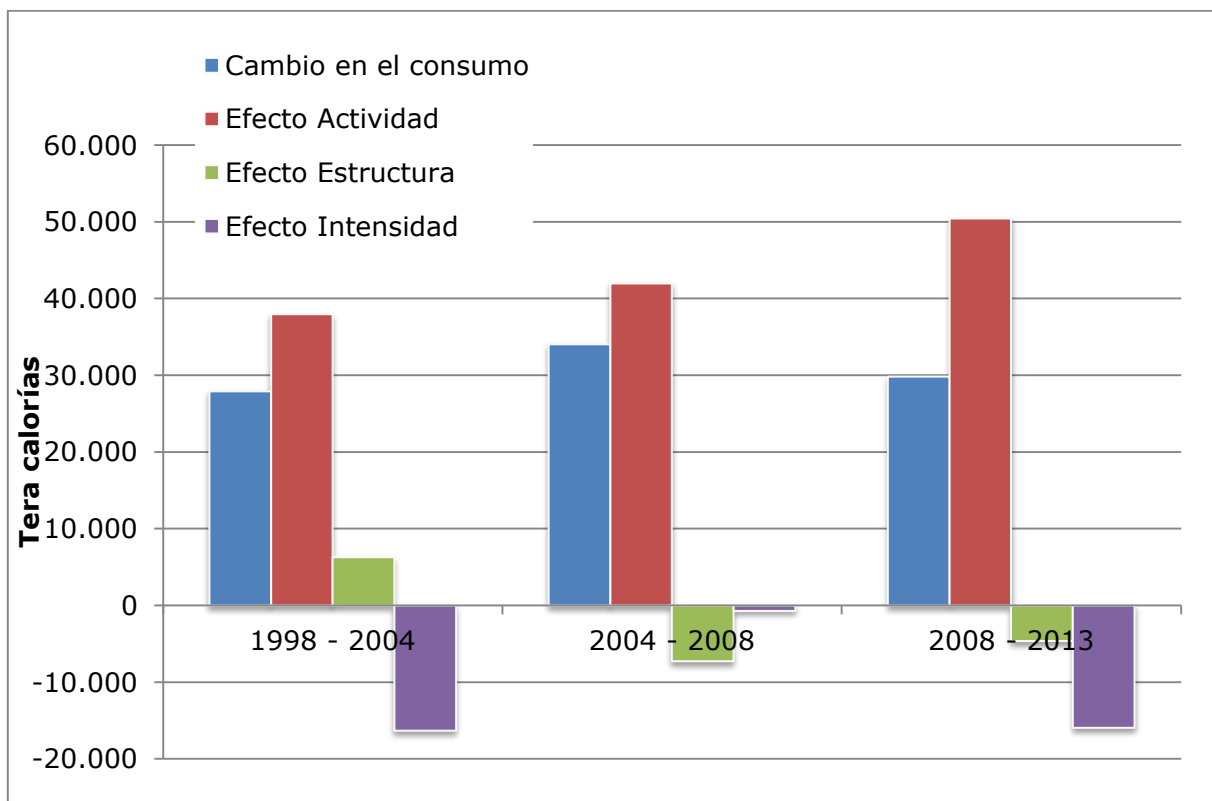
11.3 DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA: ÍNDICE DE DIVISIA ESTÁNDAR

A continuación se presentan los resultados obtenidos posteriores a la utilización del LMDI I para el período comprendido entre 1998 y 2013.

Es importante destacar que los resultados presentados en este capítulo reflejan todos los acontecimientos ocurridos en los períodos seleccionados, es decir, incluye acontecimientos tanto macroeconómicos como microeconómicos, por lo que para poder contribuir al monitoreo de las medidas propuestas por el Gobierno de Chile es necesario contar con análisis complementarios, como lo es la línea base de proyección del consumo final hasta el año 2020, el consumo efectivo, entre otros.

En la **Figura 19** se observan los tres efectos principales (actividad, estructura e intensidad), junto con la evolución en el consumo, lo cual permite asociar dichos resultados a una serie de causas ocurridas en Chile para los años en estudio.

Figura 19. Resultados de la descomposición aditiva de los cambios en el consumo energético, incluyendo sector Transporte, CPR e Industria y Minería



Fuente: Elaboración propia

El efecto de actividad provoca un aumento de 37.957 Tcal en términos de consumo energía secundaria final, reduciéndolo el efecto intensidad en 16.322 Tcal durante el mismo período. Al incorporarse el efecto de estructura, con un valor positivo de 6.299 se tiene una diferencia de consumo total de 27.934 Tcal. Luego para el período entre los años 2004 y 2008 el efecto que predomina nuevamente es el de actividad, aumentando en 41.994 Tcal el uso final de energía, seguido por el efecto de estructura en términos de influencias en el cálculo, que a diferencia del período anterior, cae a un valor de -7.266 Tcal, contribuyendo por último al descenso de la diferencia de consumo el efecto de intensidad, con un valor de -690 Tcal, lo cual entrega un valor de 34.038 Tcal de diferencia en el consumo final de energía. Finalmente para el último horizonte temporal presentado (2008 - 2013) el efecto de actividad predomina nuevamente, con un valor igual a 50.446 Tcal, seguido (en contribución) por el efecto de intensidad, con un aporte de -15.961 Tcal, y por último el efecto de estructura que pasa a contribuir menos con respecto del período comprendido entre los años 2004

y 2008, con un valor de -4640 Tcal, entregando un consumo final de energía de 29.845 Tcal.

En la **Figura 19** se puede observar que durante todo el período (1998 - 2013) sobre el cual se realizan los cálculos, el único efecto que contribuye a una baja en lo que respecta a uso final de energía es el de intensidad, alcanzando el mayor valor (más positivo) entre 2004 y 2008²².

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos, diferenciando por efecto y por año.

11.3.1 EFECTO ACTIVIDAD

1998 - 2004

El efecto actividad posee un valor de 37.957 Tcal, siendo muy superior a los otros restantes, esto se debe principalmente al asombroso crecimiento de Chile en materia de producción para los tres sectores de la economía considerados en los análisis (Industria y Minería, Transporte, CPR), siendo el Cobre uno de los principales "commodities" exportados del país.

El crecimiento viene dado también por los altos niveles de importación del gas natural desde Argentina, gracias a los bajos precios de este y a su uso masivo por la matriz energética del país, siendo utilizado en los principales sectores productivos (por ejemplo, Methanex y su aporte a la producción de metanol mediante sus plantas petroquímicas). El uso del gas natural alcanza su punto más alto en el año 2004, aumentando su consumo desde 1bcm²³ en 1996 a 8.6 bcm, es decir, de un 1% a un 33% del total de la generación eléctrica. Con el impacto positivo en la economía chilena, el sector privado invierte alrededor de USD 4.9 billones en infraestructura de transporte de gas y facilidades para la generación eléctrica mediante el uso de este combustible.

Tabla 4. Evolución del precio de importación del gas argentino 2000 - 2008

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
USD/MMBTU	2,30	2,40	2,53	2,35	2,50	3,13	4,30	6,40	10,00

Fuente: Chile Energy Policy Review, IEA 2009

²² Los cálculos se realizan sobre períodos de años distintos, por lo que los resultados depende de qué diferencia temporal de está utilizando (espacios de 1 año, 2 años, etc.).

²³ Billion Cubic Meters.

En la **Tabla 4** se puede observar claramente la evolución del precio de importación del gas proveniente de Argentina, y de su bajo valor hasta el año 2004 (previo a las condiciones de restricción).

Otros posibles motivos que explican el valor del efecto actividad:

- Aumento considerable en el número de cultivos anuales y exportaciones de fruta fresca contribuyendo en gran parte al sector Agropecuario.
- Recuperación de las aves posterior a la influenza aviar en las temporadas previas al año 2004²⁴.
- Se incrementa la pesca extractiva gracias a la captura de nuevas especies pelágicas, y a la producción en sí.
- La minería se ve muy beneficiada por los bajos precios del gas, aumentando sus niveles de inversión y desarrollando nuevos proyectos de gran envergadura en el sector privado.
- Mayor dinamismo en lo que respecta al número de edificaciones, llevando a un aumento en la producción del sector Construcción.

Estos factores en conjunto contribuyen a generar el valor del efecto actividad que incrementa la diferencia de consumo energético final.

2004 - 2008

A diferencia del período anterior, se puede observar que el efecto actividad presenta un crecimiento no tan pronunciado, siendo un 10,6% mayor. Esto se puede atribuir en gran medida a las restricciones del gas natural proveniente de Argentina en el año 2004, lo que provoca que las importaciones del combustible convenidas con el país vecino caigan en un 95%, generando consecuencias adversas para el sector energético y la economía chilena en general. Durante los años 2007 y 2008, las importaciones prácticamente se detienen excepto por 0,5 bcm de consumo residencial y comercial en la Región Metropolitana de Santiago. Otros aspectos importantes se destacan en el período que explican el estancamiento en la producción:

- El sector Industrial a raíz del grave problema producto del corte del suministro del combustible comienza a recurrir a fuentes de energía

²⁴ Revisar antecedentes de Chile y análisis sectorial, Capítulo 11.1

más dañinas para el medio ambiente y más caras, sin ningún respaldo de suministro.

- En cuanto a la participación por sector existe una producción constante en lo que respecta a agricultura, y disminuye la actividad frutícola producto de problemas climáticos, afectando la producción.
- Otro efecto importante al que puede atribuirse el bajo aumento en el efecto actividad es la Crisis Subprime, la cual desencadena una baja en las exportaciones de Chile a las economías afectadas y una caída en el precio del cobre, afectando la industria de la minería.

2008 - 2013

Existe un aumento mucho mayor en este período que en los dos anteriores, correspondiente a un 20% con respecto al efecto actividad de 2004 - 2008 y a un 33% del de 1998 - 2004. Esto se puede atribuir a:

- Existe un crecimiento moderado en la industria minera, que equivale a un 1.3% entre 2009 y 2014, esto producto de una baja en la producción de cobre y un alza en la de hierro gracias a la apertura de un nuevo yacimiento.
- Se estabiliza en gran medida la economía, creciendo de manera relativamente constante en cada actividad económica, siendo el sector CPR el que presenta una tasa mayor de crecimiento (32,13%) al comparar el año 2013 con 2008, destacándose por el desarrollo tecnológico en lo que respecta a las telecomunicaciones y servicios como las conexiones de internet y correos.
- Crecimiento de la superficie edificada con 85 millones de metros cuadrados construidos, a diferencia del período anterior, con 73 millones de metros cuadrados, lo cual puede asociarse a la creación de nuevas empresas (o sucursales) y recintos domiciliarios.
- Junto con esto existe el incremento en empresas chilenas, creándose un total de 58.400 en el año 2011 y 67.000 para el 2012, alcanzando cifras altísimas tanto en inversión de capitales como de nuevos empleos y oportunidades para incorporarse a la producción.

A continuación se presenta el análisis para el efecto de estructura, el cual hace relación al aporte a la producción de cada sector de la economía.

11.3.2 EFECTO DE ESTRUCTURA

1998 - 2004

Se tiene un valor positivo, lo que significa que en términos de aporte total, los sectores aumentan su participación al PIB (excepto Industria y Minería).

El sector de Industria y Minería cae un 3% en 2004 (con respecto al año 1998), esto puede deberse a todo lo que desencadena las restricciones del GNL de Argentina, frenando hasta cierto punto el crecimiento²⁵.

Tabla 5. Participación de los sub sectores en el PIB total, 1998 - 2004

Sub sector	1998	2004
Transporte	4,88%	5,48%
Industria y Minería	49,59%	46,63%
CPR	45,51%	47,88%
PIB a costo factores	58.865.811	71.405.167

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 5** se puede observar que la participación del sector Industrial y Minero disminuye, a diferencia del Transporte y CPR, también se puede notar que en el año 2004, a diferencia del 1998 el sector Comercial, Público y Residencial es el que presenta una mayor participación en la producción total del país, debido a que se comienza a avanzar en materia de tecnologías y servicios nuevos, en general este sector tiende al alza producto de la versatilidad que contiene, no así Industria y Minería, que depende fuertemente de lo que ocurre con el precio del cobre y los niveles de producción de diferentes industrias, como la celulosa.

²⁵ Es importante notar que siempre se habla de que "puede atribuirse a", esto es porque la métrica captura acontecimientos macroeconómicos como microeconómicos, por lo que se hace necesario contar con una base de datos mucho más fuerte para poder hacer conclusiones más interesantes.

2004 - 2008

Para los años 2004 y 2008 tanto el sector de Industria y Minería como el de Transporte decaen en cuanto a su participación en lo que corresponde al PIB,

Tabla 6. Participación de los sub sectores en el PIB total, 2004 - 2008

Sub sector	2004	2008
Transporte	5,48%	5,19%
Industria y Minería	46,63%	42,21%
CPR	47,88%	52,68%
PIB a costo factores	71.405.167	85.888.192

Fuente: Elaboración propia

en la **Tabla 8** se pueden observar las participaciones por sector al PIB total del país para los años 2004 y 2008. Esto puede atribuirse a que en este período Chile se encuentra pasando por los efectos del corte del GNL por parte de Argentina, por lo que existe una disminución en la producción en cuanto a la proporción de aporte al total.

Como se aprecia en el período anterior, la industria minera es una de las más afectadas, estancando su crecimiento a valores de alrededor del 1,3% anual. Existen sin embargo, una serie de acontecimientos que se suman al período, como lo son:

- El Gobierno de Chile comienza a tomar cartas en el asunto al ver el mal panorama en el que se encuentra inmerso el país, creando así el Programa País de Eficiencia Energética y con aspiraciones a que las principales empresas generadoras comiencen su transformación a una matriz que permita utilizar otro tipo de energías y no depender casi completamente de la importación del GNL.
- Participación del sector Transporte cae un 0,29%, valor marginal comparado con el de Industria y Minería, pero que puede atribuirse a la puesta en marcha del nuevo sistema de transporte de Santiago, el "Transantiago", cuyo objetivo principal es poder modernizar la capital mediante un sistema seguro, confiable, rápido y que además disminuya considerablemente las emisiones de gases efecto invernadero, todo esto teniendo en consideración que la tasa de viajes promedio en la capital se incrementa en alrededor de un 3% por año, con un gran crecimiento de los viajes fuera del trabajo y de las escuelas como una participación del total. El sistema para el año 2007 no cuenta con la suficiente robustez como para soportar el nuevo plan del gobierno, la falta de infraestructura adecuada en las calles (vías

exclusivas), la capacidad limitada en el Metro de Santiago, bajas tasas de llegada de buses y falta de conocimiento por parte de la ciudadanía, son parte de los antecedentes que llevan a que el sistema colapse, llevando a que (uno de los problemas) los viajes en metro aumenten de 331 millones de viajes en 2006 a 662 en 2007 y además a un gran número de atrasos en lo que respecta al inicio del horario laboral, disminuyendo así la producción. Esto puede explicar la caída en la participación del sector con respecto a la producción total, producto del sistema que no es capaz de soportar las condiciones del momento.

- El sector Comercial, Público y Residencial mantiene un alza relativamente constante, destacándose el incremento en las comunicaciones gracias a la llegada de nuevos actores y nuevas tecnologías, principalmente en lo que respecta a telefonía fija y larga distancia, reemplazando a las antiguas como el correo.

2008 - 2013

Se tiene un valor más grande que en el período anterior, esto puede atribuirse a los planes de contingencia, como el cambio del tipo de centrales (ciclo combinado a ciclo abierto) y a las medidas propuestas por el Ministerio de Energía. En la **Tabla 7** se puede ver el porcentaje de participación de cada sub sector con respecto del PIB total (CLP\$).

Tabla 7. Participación de los sub sectores en el PIB total 2008 – 2013

Sub sector	2008	2013
Transporte	5,19%	5,14%
Industria y Minería	42,21%	38,93%
CPR	52,68%	55,92%
PIB a costo factores	85.888.192	104.320.750

Fuente: Elaboración propia

Industria y Minería cae marginalmente menos que en el período anterior, sin embargo no es claro qué es lo que desencadena esta disminución en la caída, podría atribuirse a que las centrales de generación comienzan a adaptarse para utilizar otros tipos de combustibles en vez del GNL.

El que aún para la comparación de 2013 con 2008 exista una baja en los sectores de Industria y Minería y Transporte, se puede atribuir al terremoto ocurrido el 27 de Febrero del año 2010, el cual paraliza de cierto modo la industria, afectando a todos los procesos productivos cuyas fuentes de extracción requieren de la utilización del suelo o la zona marina afectada por el desastre natural, casos como el de la industria salmonera o la actividad

frutícola son parte de los daños que el evento provoca, paralizando la economía por un período relativo a un año. La disminución del sector Transporte se debe a su vez a una caída en el transporte de carga marítimo y aéreo, sin embargo al aumentar el servicio de transporte de pasajeros y viajes internacionales, se logra atenuar esta baja.

11.3.3 EFECTO DE INTENSIDAD

1998 - 2004

Para la comparación entre el año 2004 y el 1998 se encuentra una disminución en la intensidad de energía en los sectores Transporte y CPR, esto puede atribuirse al incremento sustancial de la producción bruta del país.

Al crecer un 21% el PIB comparando ambos años y un 15% el consumo total, se obtiene el efecto recién mencionado, en otras palabras, se produce más de lo que se consume. En cuanto al detalle por sector económico se tiene lo siguiente²⁶:

- Transporte crece un 36% en cuanto a su producción, y un 11,6% en consumo energético, **disminuyendo** su intensidad.
- CPR, la producción incrementa en un 27,6% al año 2004 (con respecto a 1998), mientras que el consumo presenta una diferencia positiva equivalente a un 16,7%, siguiendo la línea de una **disminución** de intensidad energética.
- Sector de Industria y Minería presenta un aumento de un 14% en producción, a diferencia del consumo que crece en mayor proporción, **aumentando** la intensidad energética (17,7%).

Las cifras se pueden ver en la **Tabla 8**, en la cual se presentan los consumos y producción para cada sub sector de la economía.

²⁶ Intensidad de energía aumenta si: Incremento PIB < Incremento Consumo.
Intensidad de energía disminuye si: Incremento PIB > Incremento Consumo.

Tabla 8. Consumo y Producción, 1998 - 2004

Sector	1998		2004	
	Consumo (Tcal)	Producción (MM)	Consumo (Tcal)	Producción (MM)
Transporte	65.826	2.876.912	73.459	3.914.743
Ind y Min	66.673	29.196.349	78.537	33.300.207
CPR	50.431	26.792.551	58.868	34.190.217

Fuente: Elaboración propia

Un factor importante que puede explicar la disminución en dos de los tres sectores y que se relaciona fuertemente con la expansión de la producción guarda relación al incremento en el número de conexiones, de 40.000 en gran parte de la XII Región, a 300.000 clientes en alrededor de 5 regiones distintas.

Es importante que el lector tome en consideración los argumentos presentados sobre la situación final para el año 2004, en el que Chile se encuentra en el punto más alto en lo que respecta a la industria de la minería, por lo mismo el consumo aumenta más que el incremento de la producción.

2004 -2008

En este período Chile se encuentra posterior a la crisis del gas natural, por lo que el país se enfrenta a la difícil situación de que las centrales de gas de ciclo combinado del SIC y SING se deben convertir a ciclo abierto mediante la utilización de diésel, disminuyendo su eficiencia en un 20% como medida de soporte. Para poder hacer frente a esto el Gobierno de Chile toma una serie de iniciativas, entre ellas están la entrega de ampollitas eficientes al 40% de las familias más vulnerables del país; reducción del 10% de la transmisión de voltaje; la extensión del horario de verano por algunas semanas; y un plan para reducir el consumo de energía en el sector público en un 5%. Estas medidas buscan mitigar el efecto de la conversión de centrales y las consecuencias de las restricciones del combustible por parte de Argentina. Esto se ve reflejado en el valor del efecto intensidad, que si bien sube sustancialmente según lo esperado, se mantiene en valores negativos (mientras menor sea, implica mayor eficiencia energética).

Tabla 9. Consumo y Producción, 2004 - 2008

Sector	2004		2008	
	Consumo (Tcal)	Producción (MM)	Consumo (Tcal)	Producción (MM)
Transporte	73.459	3.914.743	89.947	4.462.918
Ind y Min	78.537	33.300.207	92.582	36.178.231
CPR	58.868	34.190.217	62.373	45.247.043

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 9** se puede observar la producción y el consumo para todos los sectores, lo cual arroja lo siguiente:

- Sector Transporte presenta un aumento de un 22,44% en lo que es consumo final, en contraste con su crecimiento de producción, equivalente a un 14% con respecto al año 2004.
- En Industria y Minería, el crecimiento en el consumo final de energía corresponde a un 17,88%, mientras que en la producción es de un 8,6%.
- Sector Comercial, Público y Residencial se presenta un alza en el consumo equivalente a un 5,9%, frente a un 32,3% de crecimiento correspondiente al PIB del sector.

Lo anterior muestra que los dos primeros sectores son los que presentan un **aumento** en intensidad, atribuible a las consecuencias del año 2004 producto de las restricciones impuestas por el país vecino, apaciguado por el efecto del sector CPR, que gracias al desarrollo comercial, de la telefonía móvil y de las nuevas tecnologías, logra disminuir en gran medida su efecto de intensidad.

Es importante mencionar a su vez que dentro de las consecuencias del corte del gas y de las medidas tomadas para realizar un cambio en la matriz energética, se encuentra un alza en el precio de la electricidad, incrementando su valor desde USD 40/MWh en 2004 a USD 120/MWh en 2008/09, mientras que el precio spot alcanza valores de USD 350/MWh en 2008.

2008 - 2013

Al realizar la comparación entre el año 2013 y 2008, se obtiene un cambio con respecto al período anterior, en este caso el crecimiento en el consumo final del sector Transporte es considerablemente menor al aumento del PIB sectorial, siendo el primero de un 4,4%, mientras que el segundo de un 20,22%, lo cual puede atribuirse a un aumento del transporte inter urbano de pasajeros, y un aumento en los viajes internacionales. Es importante destacar que para el período en cuestión comienzan las remodelaciones de las vías exclusivas para buses, lo cual si bien no acaba completamente con las deficiencias del Transantiago, comienza a solucionar de a poco las falencias detectadas.

Tabla 10. Consumo y Producción, 2008 - 2013

Sector	2008		2013	
	Consumo (Tcal)	Producción (MM)	Consumo (Tcal)	Producción (MM)
Transporte	89.947	4.462.918	93.910	5.365.686
Ind y Min	92.582	36.178.231	105.725	40.614.295
CPR	62.373	45.247.043	75.112	58.340.769

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 10** se puede observar la diferencia en cuanto a consumo final y a producción para cada sub sector, en particular cada uno presenta las siguientes variaciones:

- Transporte presenta un crecimiento en el consumo final de un 4,4%, en términos de producción, crece un 20,22% en cuanto a PIB.
- Sector Industria y Minería aumenta su consumo final en un 14,2%, en términos de producción, de un 12,26%.
- Comercial, Público y Residencial aumenta su consumo final en un 20,4%, en cambio el crecimiento en términos de producción es de 28,93%.

Se mantiene al igual que entre los años 2004 - 2008 una **disminución** en la intensidad para el sector CPR y un **aumento** en Industria y Minería, atribuible este último posiblemente a que si bien se incorporan nuevas centrales como Quintero y Mejillones, aún existen ineficiencias en el sistema, dejadas producto de la crisis de 2004. En cuanto al sector CPR su baja de

intensidad sostenida es atribuible al desarrollo tecnológico del sector de las comunicaciones, así como el aumento de los servicios empresariales y financieros.

Dentro de los proyectos del período se encuentran la construcción de nuevas terminales de gas natural licuado (GNL) y la llegada de suministros de GNL a Quintero en la zona central del país a mediados de 2009, y a Mejillones en el norte en 2010, atenuando en parte la demanda existente por el combustible. La central de Quintero que comienza sus operaciones a fines de Agosto de 2009, siendo desarrollada por GNL Quintero, un consorcio conformado por BG (40%), ENAP (20%), Endesa Chile (20%) y Metrogas (20%). Se estima que el costo del proyecto es de alrededor de USD 1.2 billones, cuya capacidad de envío de gas inicial es de 2 bcm para el año 2009. La capacidad permanente se espera en alrededor de 3.4 bcm anuales, con opciones de expansión para alcanzar 6.8 bcm por año.

Estos proyectos pueden estar provocando que el efecto intensidad retorne a valores negativos, contribuyendo de ese modo a disminuir la diferencia en el consumo final.

Tabla 11. Crecimiento porcentual Consumo y Producción

Sector	1998 - 2004		2004 - 2008		2008 - 2013	
	Consumo (Tcal)	Producción (MM)	Consumo (Tcal)	Producción (MM)	Consumo (Tcal)	Producción (MM)
Transporte	11,59%	36,07%	22,44%	14,00%	4,40%	20,22%
Ind y Min	17,79%	14,05%	17,88%	8,64%	14,19%	12,26%
CPR	16,7%	27,6%	5,95%	32,33%	20,42%	28,93%

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 11** se pueden observar los datos presentados en la sección anterior, los cuales muestran la variación porcentual para cada sector en cuanto al consumo y a la producción.

En resumen, el método LMDI I permite analizar y descomponer el consumo energético (sin término residual) en los efectos ya vistos en capítulos anteriores, por lo que brinda una métrica bastante interesante para poder visualizar de manera separada los cambios macroeconómicos, microeconómicos y de situaciones exógenas como las restricciones del GNL. Sin embargo, existen una serie de extensiones al método que permiten desagregar aún más los sectores analizados en la presente tesis, éstas se utilizan y describen en las secciones a continuación.

11.4 DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA EXTENSIONES: ÍNDICE DE DIVISIA, SECTORES DESCOMPRIMIDOS

Si bien el LMDI I es un buen indicador de la evolución del consumo final de energía de un país, para que sus análisis sean mucho más completos es necesario contar con ciertos niveles de desagregación de los datos utilizados, es por esto que a continuación se presentan extensiones de las fórmulas para poder ampliar el espectro de resultados. Las fórmulas se pueden revisar en la sección **Apéndices**.

Nota: Los análisis y antecedentes son coherentes con los presentados en la sección anterior, por lo que existen argumentos que se repiten tanto para el caso agregado como para el desagregado.

11.4.1 INDUSTRIA Y MINERÍA

Para desagregar el sector Industria y Minería se asocia un grupo de actividades económicas a otro de consumo energético del mismo sector, quedando la organización como se muestra en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Asociación PIB - Consumo Energético

Producción	Consumo
Minería del cobre	Cobre
Otras actividades mineras	Minas varias, Hierro, Salitre
Agropecuario-silvícola, electricidad, gas y agua, alimentos, bebida, tabaco, maderas y muebles, textil, productos metálicos	Industrias varias, azúcar
Minerales no metálicos y metálica básica	Siderurgia
Química, petróleo, caucho, plástico, papel y celulosa	Petroquímica, celulosa y papel
Construcción	Cemento
Pesca	Pesca

Fuente: Elaboración propia

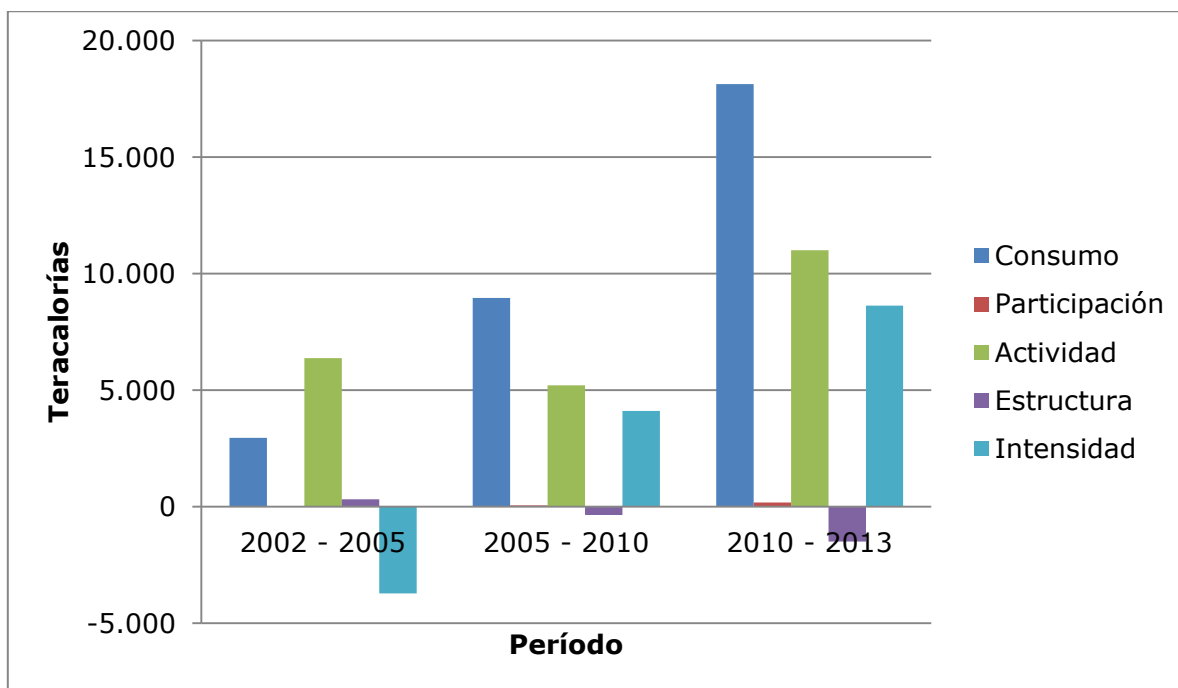
Dado que la data no presenta el mismo formato entre los archivos de las cuentas nacionales y los balances de energía, para poder desagregar los sectores es necesario ordenarlos de acuerdo a un patrón común. Para el caso de Industria y Minería es relativamente más simple, ya que se deben asociar

las componentes de acuerdo a su similitud conceptual o literal, por lo que sólo se requiere de ambas bases para realizar la asociación²⁷.

Para este tipo de descomposición en la que se desagrega un sector, no se tiene la base de datos completa como para que el método esté libre de errores, por lo que en este caso se tiene el término residual. Para poder obtener un residuo igual a cero es necesario que las bases de datos presenten las mismas componentes, logrando la desagregación completa, de lo contrario se debe aproximar para poder obtener la descomposición con un residuo controlado.

Para el caso del sector Industria y Minería es importante notar que los efectos son los mismos, exceptuando por el de **Participación**, que hace referencia a la diferencia en cuanto a consumo, de un sub - sector determinado para los años en comparación (por ejemplo, consumo energético del sub - sector "Otras actividades mineras", comparado entre 1998 y 2013).

Figura 20. Resultados de la descomposición aditiva de cambios en el consumo energético para el sector Industria y Minería



Fuente: Elaboración propia

²⁷ Sector Transporte no se presenta desagregado en las cuentas nacionales y CPR posee componentes completamente distintas entre un archivo y otro.

En la **Figura 20** se puede apreciar los resultados de la descomposición aditiva para el sector Industria y Minería para el período comprendido entre los años 2002 y 2013. En este caso es importante observar que entre el año 2005 y 2010 el efecto de actividad cae, en comparación con el período siguiente, esto se puede atribuir a la crisis Subprime, producto de la baja en las exportaciones dadas las situaciones económicas afectadas de las economías que lideran el resto del mundo, también se puede destacar el efecto producido por el corte del gas de Argentina y sus consecuencias en la producción minera.

Para el período entre 2010 y 2013 se presenta un aumento considerable en la actividad del sector, impulsado principalmente por los sub sectores de *Construcción, Agropecuario - silvícola, Electricidad, gas y agua e Industrias varias*, esto guarda una explicación en que el primero crece debido a los daños provocados por el terremoto del 27 de Febrero de 2010, teniendo que invertir mayor cantidad para la reparación de viviendas e infraestructura de producción. Para el segundo sub sector se puede explicar en el aumento de la actividad frutícola y del aumento de exportación de frutas, junto con el desarrollo de nuevos cultivos. Es importante destacar que los análisis son complementarios con los expuestos anteriormente.

En cuanto al efecto de estructura se ve una disminución paulatina, esto puede deberse principalmente a una caída en la producción de la industria minera, tanto del cobre como de otros minerales, lo cual lleva a un aporte menor en cuanto a la producción total del sector, cayendo también el aporte de la industria petroquímica, papel y celulosa.

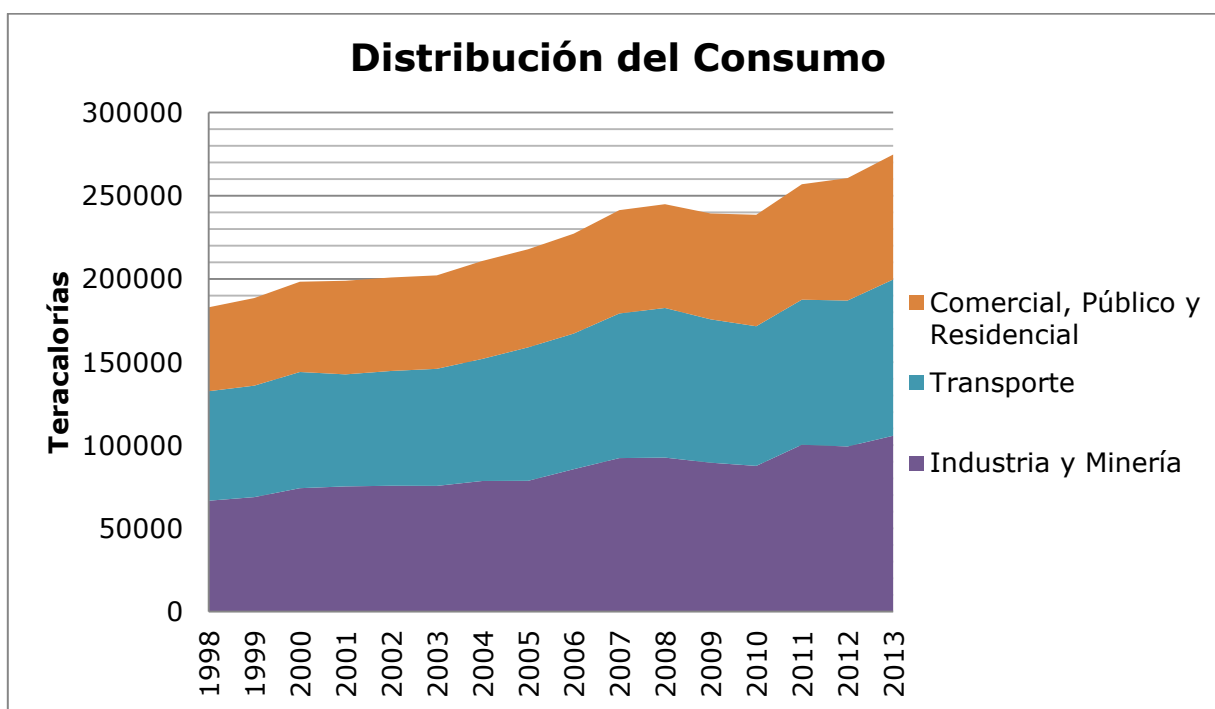
Para el efecto de intensidad se observa un valor negativo en el primer período, atribuible posiblemente al crecimiento en el PIB gracias a una primera etapa de incorporación del GNL a la matriz energética, junto con un aumento en la eficiencia, sin embargo es importante destacar que se incluye el año 2004, en el que se efectúa la restricción, por lo que el valor de este efecto es menor en proporción al presentado en la primera parte (50% menor en términos de ahorro). Posteriormente se aprecia un alza en la intensidad, esto es atribuible a una pérdida de eficiencia por parte de la matriz energética de Chile, al realizar una transformación a la utilización de diésel en vez de gas natural para poder disminuir los efectos del corte, perdiendo un 20% de eficiencia energética en los períodos siguientes.

Por último se encuentra el efecto de participación, que hace referencia a cómo cambia el aporte al consumo por sub sector, si se presenta un efecto

positivo significa que todos los sub sectores aumentaron su consumo de manera positiva. Para este caso se aprecia un efecto marginal, siendo el mayor valor entre 2010 y 2005 (175 Tcal).

En la **Figura 21** se puede ver que el sector de Industria y Minería es el que posee un mayor consumo total final, seguido por el Transporte y finalmente Residencial, esto ratifica de buena manera que la intensidad suba para el primero, ya que se engloban una mayor cantidad de sub sectores de producción.

Figura 21. Consumo Final Total por sector



Fuente: Chile Energy Policy Review, IAE 2009

El consumo final sube de manera relativamente constante, lo cual hace sentido tomando en consideración que las tecnologías van en desarrollo, hay un aumento en la población, y por ende una mayor demanda energética. Para el año 2013 se tiene lo siguiente:

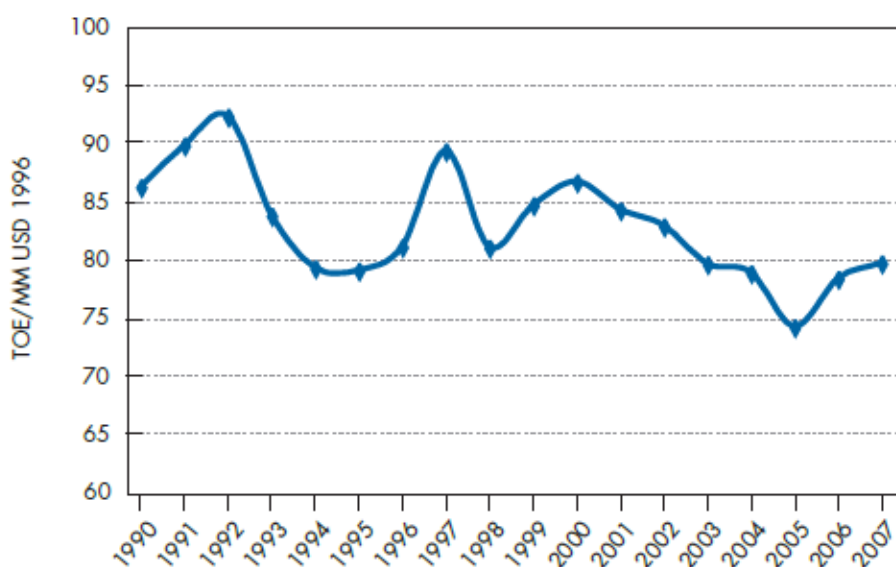
- Industria y Minería tiene un consumo correspondiente al 38% del total.
- Transporte tiene un consumo correspondiente al 34% del total.
- Comercial, Público y Residencial tiene un consumo correspondiente al 27% del total.

- En cuanto a los combustibles los derivados del petróleo (53%), la electricidad (20%) y biomasa (20%) corresponden a un 93% del consumo total final.

Esto muestra que los sectores que más contribuyen al consumo son Industria y Minería y Transporte, por lo que su descomposición en efectos se vuelve interesante al momento de analizar el escenario global.

En la **Figura 22** se puede ver la intensidad energética para el período entre 1990 y 2007, con una tendencia relativa a la baja alcanzando el mínimo entre el 2004 y 2005. La tendencia al alza en el último tramo de la curva se debe principalmente a las consecuencias de la crisis del gas natural de Argentina y los cambios de combustibles para poder abastecer la matriz energética posterior a esta en 2004.

Figura 22. Intensidad Energética, sector Industria y Minería, 1990 - 2007



Fuente: Chile Energy Policy Review, IAE 2009

11.4.2 COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL

En el caso del sector CPR se incorporan nuevos datos que permiten describir otro tipo de efectos al caso de estudio, estos datos son: *Población total*, *Superficie Edificada* y *Número de Hogares*.

Con esta información se aplica la misma fórmula del LMDI estándar para los efectos de Actividad, Estructura e Intensidad, solo que cambiando sus coeficientes por los datos anteriores.

En la **Figura 23** se presentan los resultados de la descomposición aditiva para el sector CPR.

Los nuevos efectos son:

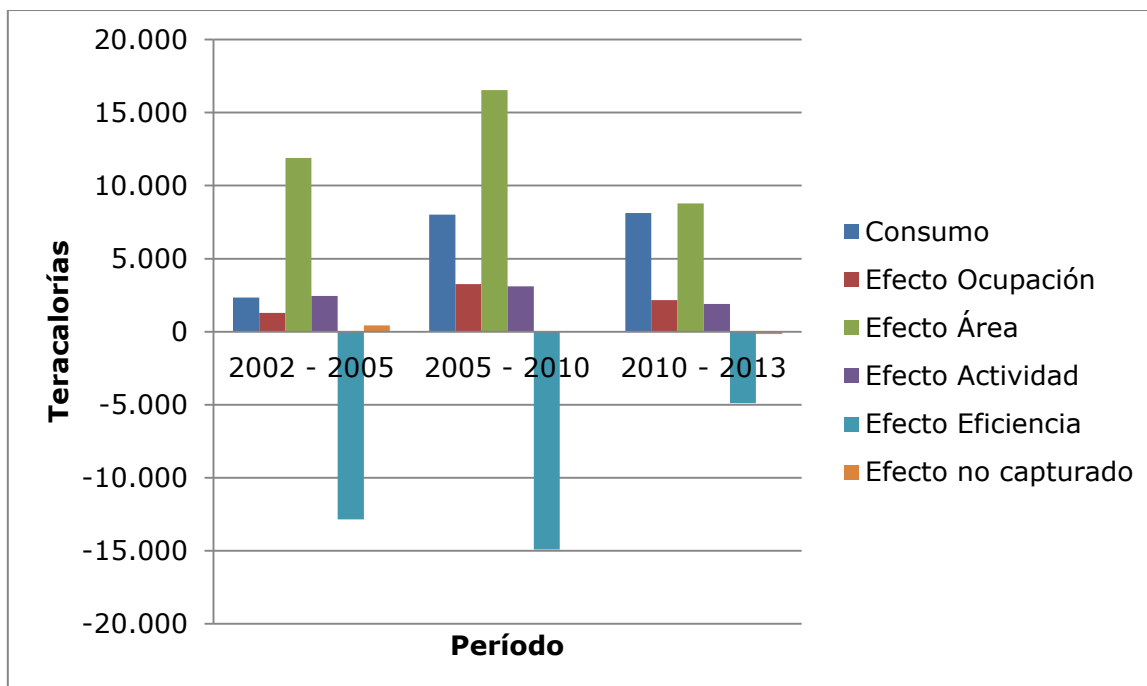
Efecto de Eficiencia: Corresponde a la relación entre el consumo energético de un combustible determinado dentro del sector, dividido por la superficie edificada total del año correspondiente, se esperaría que a medida que el área de viviendas aumente, el consumo aumente de manera proporcional, entregando un efecto que contribuya al consumo final. Sin embargo al haber una disminución en el consumo, a pesar del aumento de la superficie edificada, significaría un ahorro en términos energéticos.

Efecto de Ocupación: Hace referencia al cambio en el ratio de ocupación de hogares, el cual relaciona al número de hogares total para un determinado año, dividido por la población total. Se basa en el supuesto de que al aumentar el número de hogares por el total de la población, el consumo final aumenta.

Efecto de Área: Hace referencia al número de hogares por metro cuadrado edificado, se asume que a medida que aumenta el número de hogares por superficie, existe un mayor consumo final de energía.

Efecto No Capturado: Al no poseer la base de datos completa para poder realizar el estudio a cabalidad (uso efectivo de la energía para el cálculo de la eficiencia) se tiene un valor residual, el cual podría atribuirse a un efecto que no se encuentra y que debiese pertenecer en parte a los datos faltantes.

Figura 23. Resultados de la descomposición aditiva de cambios en el consumo energético, sector Comercial, Público y Residencial



Fuente: Elaboración propia

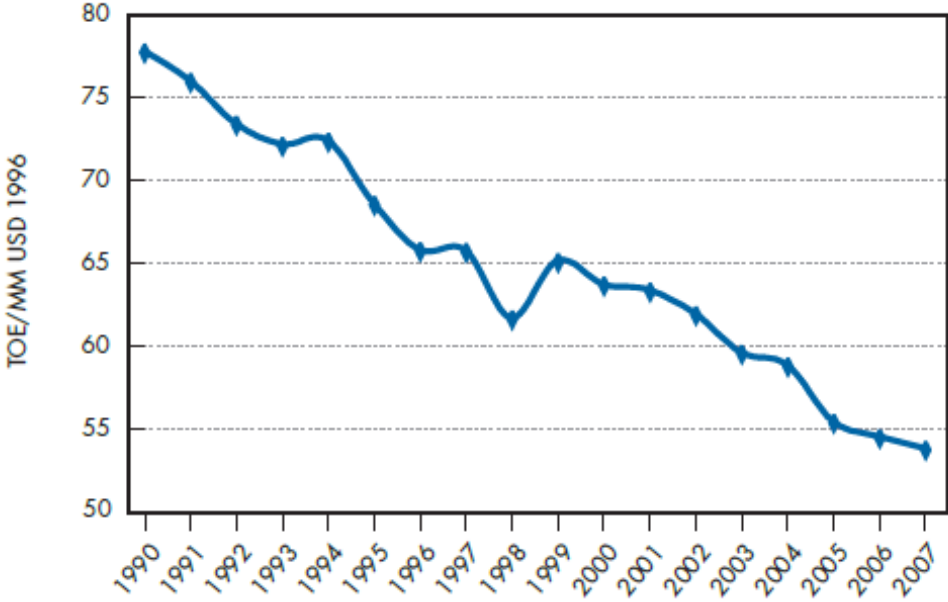
Para este caso se observa un aumento significativo del consumo entre el primer y segundo período de evaluación (2002 – 2005, 2005 – 2010), manteniendo una tendencia constante en períodos posteriores. Esto puede atribuirse a las nuevas tecnologías de las comunicaciones, mencionado anteriormente, junto a la evolución de los servicios financieros y empresariales.

En cuanto al efecto de eficiencia, se observa que por lo general para todo el período de estudio aporta a una disminución en el consumo, esto es posible atribuirlo a que no depende de manera tan directa como Industria y Minería, del uso de los combustibles como el GNL, por lo que se ve fuertemente apoyado por el desarrollo tecnológico y de nuevos servicios. Con respecto al efecto de área, se puede apreciar que el número de hogares por metro cuadrado entre 2010 y 2013 decrece en comparación con los otros dos períodos, esto puede atribuirse a una mayor dedicación a infraestructura dedicada a nuevas empresas junto con obras civiles como las nuevas secciones de hospitales o inauguración de parques de recreación, además de la construcción de gran cantidad de edificaciones en altura. En cuanto al efecto de ocupación se puede suponer que para el año 2013, el número de personas por hogar aumenta, en comparación a períodos anteriores, esto

puede deberse al aumento en el número de los integrantes de las familias, sin embargo el cambio es marginal por lo que no se detecta algún acontecimiento que destaque en los períodos. Con respecto al efecto de actividad se puede mencionar que su disminución para el 2010 - 2013 puede ser causada producto de que los tres sectores de la economía aportan de manera relativamente equitativa al PIB total, siendo el mayor aporte Industria y Minería.

En la **Figura 24** se ve como disminuye la intensidad energética del sector, siendo coherente con los resultados obtenidos, sin embargo cabe destacar que al no existir la información completa para todos los años (superficie edificada), es posible que existan sesgos no detectados en la investigación, por lo que es importante que de ser nuevamente aplicado el procedimiento, se cuenten con los datos faltantes.²⁸

Figura 24. Intensidad Energética sector Comercial, Público y Residencial, 1990 - 2007



Fuente: Chile Energy Policy Review, IAE 2009

11.4.3 SECTOR TRANSPORTE

En cuanto al sector transporte, en este caso no es posible realizar el trabajo de datos producto de los altos errores producidos. La razón radica fundamentalmente en que no se cuenta con la base de datos necesaria para

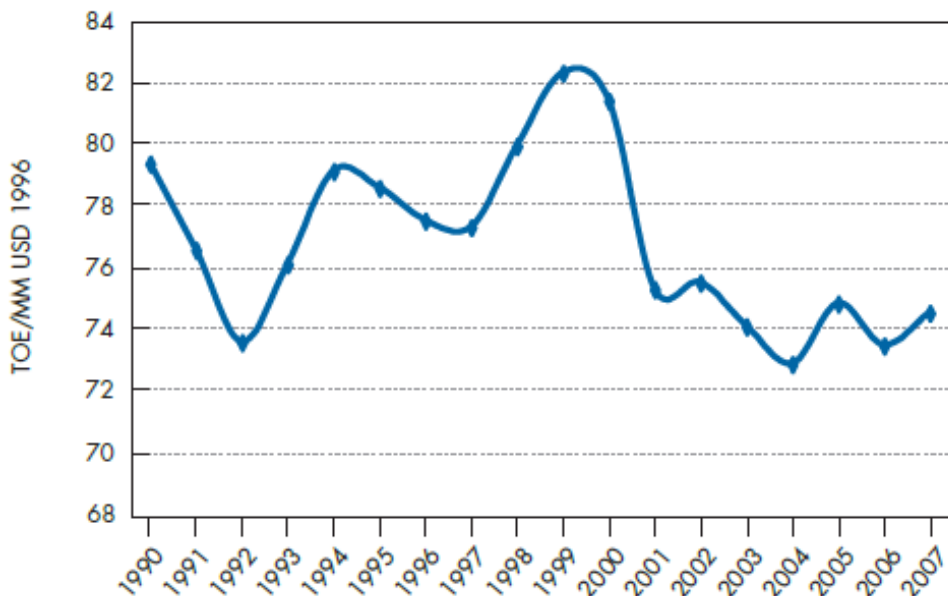
²⁸ Revisar sección de Recomendaciones

poder utilizar el LMDI I, esta es: Kilómetros pasajero para los sub sectores Caminero, Marítimo y Aéreo y Kilómetros de carga para los mismos. Lo que provoca que las fórmulas entreguen un residuo de alrededor del 70%, por lo que el análisis completo pierde significancia.

A modo de antecedentes se puede mencionar (análisis sin descomposición por índices) que el sector Transporte presenta una caída en la intensidad de energía entre el año 2000 y 2007, tal y como se puede apreciar en la **Figura 25**.

En el año 2007, presenta el segundo consumo final más grande del país, aportando con un 33%, consumo que se deriva fundamentalmente del petróleo (99% del total de la demanda energética). La intensidad del sector cae un 10% desde el año 1990 al 2004, para posteriormente mantener una tendencia estable.

Figura 25. Intensidad Energética sector Transporte, 1990 - 2007



Fuente: Chile Energy Policy Review, IAE 2009

11.5 DESCOMPOSICIÓN ENERGÉTICA EXTENSIONES: ÍNDICE DE DIVISIA SEGÚN COMBUSTIBLES

Otra forma de abarcar las fórmulas del LMDI es por medio del reemplazo del consumo por las emisiones de CO₂²⁹ equivalentes. A continuación se presenta una breve descripción del proceso seguido y los resultados.

11.5.1 CONVERSIÓN DE DATOS

Uno de los pilares fundamentales de este método es el poder contar con las emisiones de GEI para cada año, para obtener estos datos lo que se realiza es una conversión de unidades, utilizando los Factores de Emisión de Gases Efecto Invernadero de cada combustible³⁰.

En las **Figuras 26 y 27** se observan los Factores de Emisión internacionales entregados por la IPCC, los que se utilizan para poder realizar la conversión de unidades de Teracalorías a Toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, de este modo, y utilizando las ecuaciones derivadas del LMDI I se obtienen resultados interesantes que concuerdan con los análisis anteriores.

²⁹ Revisar fórmulas utilizadas en sección Apéndices.

³⁰ Tabla que representa a cuantos kilogramos de CO₂ equivalente corresponde una unidad energética de consumo.

Figura 26. Factores de Emisión estacionarios parte I

Fuel Type	Heating Value	CO ₂ Factor	CH ₄ Factor	N ₂ O Factor	CO ₂ Factor	CH ₄ Factor	N ₂ O Factor	Unit
	mmBtu per short ton	kg CO ₂ per mmBtu	g CH ₄ per mmBtu	g N ₂ O per mmBtu	kg CO ₂ per short ton	g CH ₄ per short ton	g N ₂ O per short ton	
Coal and Coke								
Anthracite Coal	25.09	103.69	11	1.6	2,602	276	40	short tons
Bituminous Coal	24.93	93.28	11	1.6	2,325	274	40	short tons
Sub-bituminous Coal	17.25	97.17	11	1.6	1,676	190	28	short tons
Lignite Coal	14.21	97.72	11	1.6	1,389	156	23	short tons
Mixed (Commercial Sector)	21.39	94.27	11	1.6	2,016	235	34	short tons
Mixed (Electric Power Sector)	19.73	95.52	11	1.6	1,885	217	32	short tons
Mixed (Industrial Coking)	26.28	93.90	11	1.6	2,468	289	42	short tons
Mixed (Industrial Sector)	22.35	94.67	11	1.6	2,116	246	36	short tons
Coal Coke	24.80	113.67	11	1.6	2,819	273	40	short tons
Fossil Fuel-derived Fuels (Solid)								
Municipal Solid Waste	9.95	90.70	32	4.2	902	318	42	short tons
Petroleum Coke (Solid)	30.00	102.41	32	4.2	3,072	960	126	short tons
Plastics	38.00	75.00	32	4.2	2,850	1,216	160	short tons
Tires	28.00	85.97	32	4.2	2,407	896	118	short tons
Biomass Fuels (Solid)								
Agricultural Byproducts	8.25	118.17	32	4.2	975	264	35	short tons
Peat	8.00	111.84	32	4.2	895	256	34	short tons
Solid Byproducts	10.39	105.51	32	4.2	1,096	332	44	short tons
Wood and Wood Residuals	17.48	93.80	7.2	3.6	1,640	126	63	short tons
	mmBtu per scf	kg CO ₂ per mmBtu	g CH ₄ per mmBtu	g N ₂ O per mmBtu	kg CO ₂ per scf	g CH ₄ per scf	g N ₂ O per scf	
Natural Gas								
Natural Gas (per scf)	0.001026	53.06	1.0	0.10	0.05444	0.00103	0.00010	scf
Fossil-derived Fuels (Gaseous)								
Blast Furnace Gas	0.000092	274.32	0.022	0.10	0.02524	0.000002	0.000009	scf
Coke Oven Gas	0.000599	46.85	0.48	0.10	0.02806	0.000288	0.000060	scf
Fuel Gas	0.001388	59.00	3.0	0.60	0.08189	0.004164	0.000833	scf
Propane Gas	0.002516	61.46	0.022	0.10	0.15463	0.000055	0.000252	scf
Biomass Fuels (Gaseous)								
Landfill Gas	0.000485	52.07	3.2	0.63	0.025254	0.001552	0.000306	scf
Other Biomass Gases	0.000655	52.07	3.2	0.63	0.034106	0.002096	0.000413	scf

Fuente: United States Environmental Protection Agency

Figura 27. Factores de Emisión estacionarios parte II

	mmBtu per gallon	kg CO ₂ per mmBtu	g CH ₄ per mmBtu	g N ₂ O per mmBtu	kg CO ₂ per gallon	g CH ₄ per gallon	g N ₂ O per gallon	
Petroleum Products								
Asphalt and Road Oil	0.158	75.36	3.0	0.60	11.91	0.47	0.09	gallon
Aviation Gasoline	0.120	69.25	3.0	0.60	8.31	0.36	0.07	gallon
Butane	0.103	64.77	3.0	0.60	6.67	0.31	0.06	gallon
Butylene	0.105	68.72	3.0	0.60	7.22	0.32	0.06	gallon
Crude Oil	0.138	74.54	3.0	0.60	10.29	0.41	0.08	gallon
Distillate Fuel Oil No. 1	0.139	73.25	3.0	0.60	10.18	0.42	0.08	gallon
Distillate Fuel Oil No. 2	0.138	73.96	3.0	0.60	10.21	0.41	0.08	gallon
Distillate Fuel Oil No. 4	0.146	75.04	3.0	0.60	10.96	0.44	0.09	gallon
Ethane	0.068	59.60	3.0	0.60	4.05	0.20	0.04	gallon
Ethylene	0.058	65.96	3.0	0.60	3.83	0.17	0.03	gallon
Heavy Gas Oils	0.148	74.92	3.0	0.60	11.09	0.44	0.09	gallon
Isobutane	0.099	64.94	3.0	0.60	6.43	0.30	0.06	gallon
Isobutylene	0.103	68.86	3.0	0.60	7.09	0.31	0.06	gallon
Kerosene	0.135	75.20	3.0	0.60	10.15	0.41	0.08	gallon
Kerosene-type Jet Fuel	0.135	72.22	3.0	0.60	9.75	0.41	0.08	gallon
Liquefied Petroleum Gases (LPG)	0.092	61.71	3.0	0.60	5.68	0.28	0.06	gallon
Lubricants	0.144	74.27	3.0	0.60	10.69	0.43	0.09	gallon
Motor Gasoline	0.125	70.22	3.0	0.60	8.78	0.38	0.08	gallon
Naphtha (<401 deg F)	0.125	68.02	3.0	0.60	8.50	0.38	0.08	gallon
Natural Gasoline	0.110	66.88	3.0	0.60	7.36	0.33	0.07	gallon
Other Oil (>401 deg F)	0.139	76.22	3.0	0.60	10.59	0.42	0.08	gallon
Pentanes Plus	0.110	70.02	3.0	0.60	7.70	0.33	0.07	gallon
Petrochemical Feedstocks	0.125	71.02	3.0	0.60	8.88	0.38	0.08	gallon
Petroleum Coke	0.143	102.41	3.0	0.60	14.64	0.43	0.09	gallon
Propane	0.091	62.87	3.0	0.60	5.72	0.27	0.05	gallon
Propylene	0.091	65.95	3.0	0.60	6.00	0.27	0.05	gallon
Residual Fuel Oil No. 5	0.140	72.93	3.0	0.60	10.21	0.42	0.08	gallon
Residual Fuel Oil No. 6	0.150	75.10	3.0	0.60	11.27	0.45	0.09	gallon
Special Naphtha	0.125	72.34	3.0	0.60	9.04	0.38	0.08	gallon
Still Gas	0.143	66.72	3.0	0.60	9.54	0.43	0.09	gallon
Unfinished Oils	0.139	74.54	3.0	0.60	10.36	0.42	0.08	gallon
Used Oil	0.138	74.00	3.0	0.60	10.21	0.41	0.08	gallon
Biomass Fuels (Liquid)								
Biodiesel (100%)	0.128	73.84	1.1	0.11	9.45	0.14	0.01	gallon
Ethanol (100%)	0.084	68.44	1.1	0.11	5.75	0.09	0.01	gallon
Rendered Animal Fat	0.125	71.06	1.1	0.11	8.88	0.14	0.01	gallon
Vegetable Oil	0.120	81.55	1.1	0.11	9.79	0.13	0.01	gallon
	mmBtu per gallon	kg CO ₂ per mmBtu	g CH ₄ per mmBtu	g N ₂ O per mmBtu				
Steam and Hot Water								
Steam and Hot Water		66.33	1.250	0.125				mmBtu

Fuente: States Enviromental Protection Agency

Se realiza una aproximación en promedio con los valores de la Agencia de Protección Ambiental, para poder tener un valor estándar para los derivados del petróleo, asumiendo 70 kg de CO₂ por mmBtu. En la **Tabla 13** se presentan los combustibles utilizados para el cálculo (asociados) y su respectivo factor.

Tabla 13. Factores de Emisión Aproximados por combustibles

Combustible	Factor de Emisión de CO2
Derivados del petróleo	70
Carbón, Coke y Alquitrán	95
Gas	52
Leña y Biomasa	17
Solar térmico	0
Electricidad	0,4086 kg CO2 / kWh

Fuente: Elaboración propia

*Derivados del petróleo: Petróleo Diesel, Petróleos Combustibles, Gasolina Motor, Kerosene, Gas Licuado, Gasolina Aviación, Kerosene Aviación, Nafta, Gas de Refinería, Coke de Petróleo, Derivados Industria del Petróleo.

*Gas: Gas Corriente, Gas Coke, Gas Altos Hornos, Gas Natural, Biogas, Metanol.

*Electricidad: 0,408614261 kgCO2 /kWh, Fuente: Technical Paper | Electricity - specific emission factors for grid electricity, Ecometrica

Los nuevos efectos asociados a las fórmulas para el caso en que se cuenta con las emisiones de GEI son:

Efecto de Mezcla de Combustible: Este efecto establece la proporción de cada combustible sobre el total del consumo energético del sector, mientras menor varianza exista en la proporción de los combustibles, el efecto de mezcla se espera aporte con valores positivos al consumo, y por ende, a la emisión de GEI.

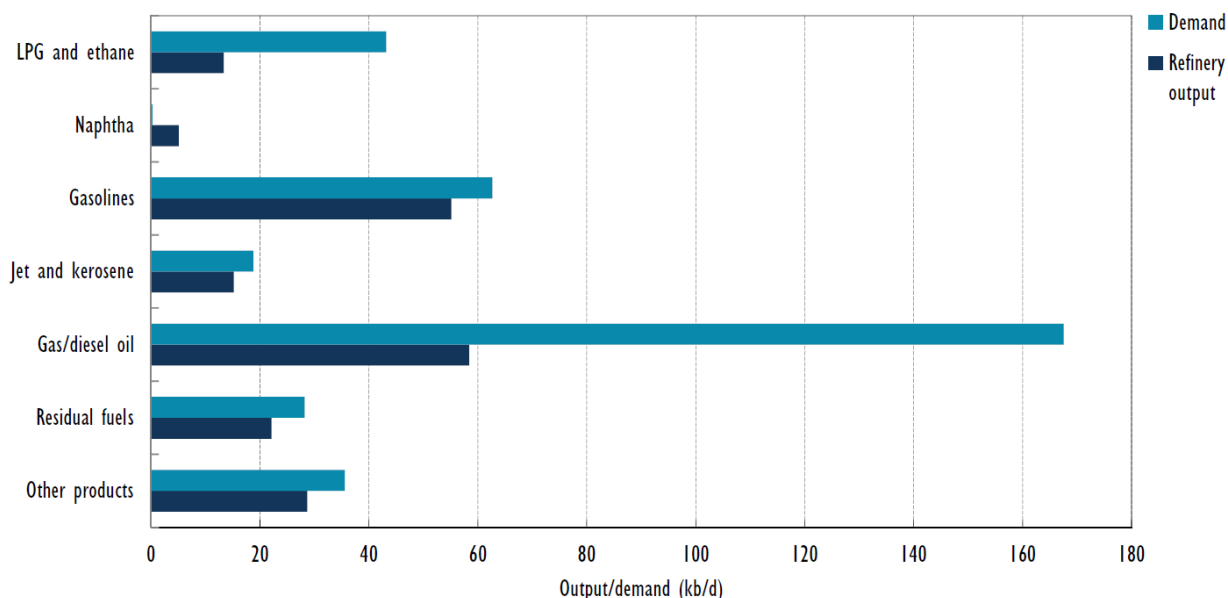
Efecto de Eficiencia: Relaciona cuanto porcentaje de la contaminación o emisión de gases efecto invernadero está relacionada al consumo energético de un determinado combustible. Al existir un valor negativo del efecto de eficiencia, se asume que se está utilizando de manera más óptima el combustible destinado al consumo.

11.5.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS

La demanda por gas natural y petróleo desde el año 2004 se incrementa sustancialmente, esto debido a las restricciones del mismo año, sin embargo gracias a la construcción de las nuevas terminales de GNL y la llegada de suministros a Quintero y a Mejillones, esta demanda se logra atenuar. La mayor cantidad de la demanda (GNL) se atribuye para el año 2012 en el sector de generación eléctrica (51,9%). El sector Industrial y la petroquímica presentan un 36,4%, dejando al residencial con aproximadamente un 12% de la demanda de gas chilena.

En la **Figura 28** se puede apreciar la diferencia que existe entre la demanda y la oferta para el año 2012 de los combustibles presentes en Chile.

Figura 28. Demanda y Producción de combustibles en Chile, 2012



Fuente: Energy Supply Security, IAE 2014

Existe claramente una sobre demanda de gas/petróleo diesel, razón de que Chile importe gran parte de sus combustibles base.

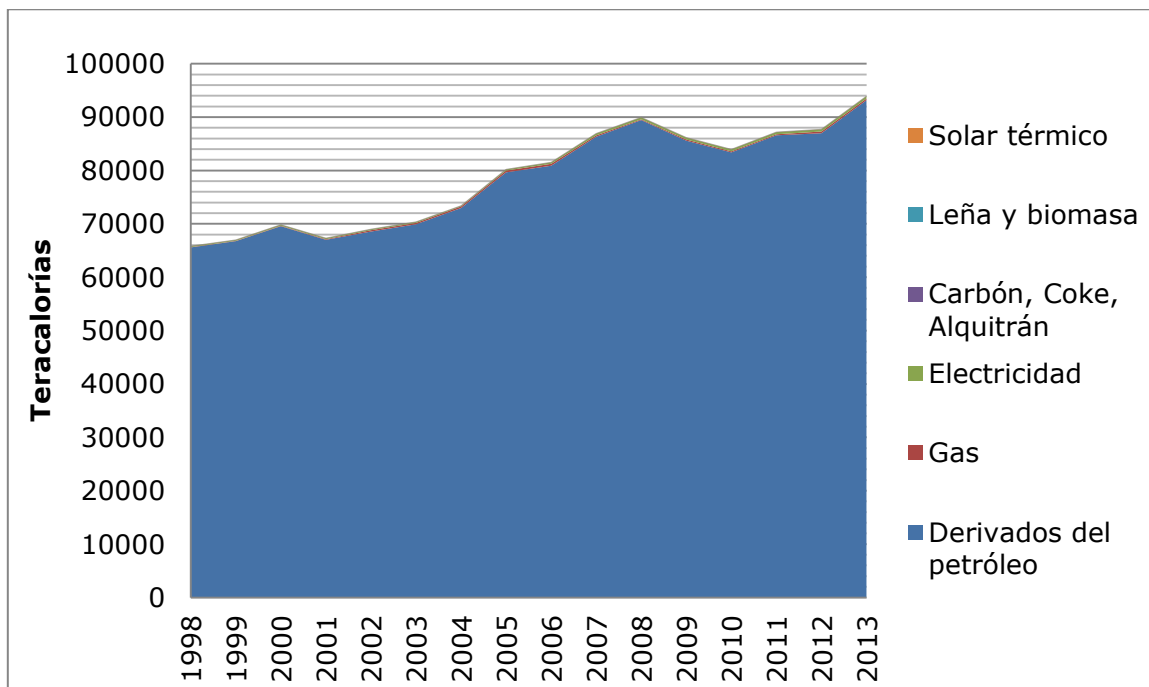
Con una demanda de petróleo estimada de alrededor de 335,5 kb/d en 2012, Chile es uno de los principales importadores tanto de petróleo crudo como de sus derivados. El 95% de las importaciones proviene de Sudamérica en el año 2012, y en cuanto a su oferta, el principal productor es la empresa ENAP, operando tres refinerías importantes (Concón/Aconcagua, Concepción/Bío Bío, y Magallanes/Gregorio) con una capacidad total de 234kb/d. Se destaca en el segundo período, el daño provocado a la Refinería Bío Bío de ENAP, teniendo que detener su funcionamiento.

Se tiene además que el cambio de un combustible a otro se vuelve bastante difícil, en particular por la alta dependencia del país con sus importaciones, destacándose la zona central.

Es importante tener una idea de cómo se distribuye el consumo energético por combustible en cada sector, por lo que a continuación se presentan las distribuciones pertinentes para los sectores Transporte, Industria y Minería y Comercial, Público, Residencial.

En la **Figura 29** se puede observar que los derivados del petróleo³¹ corresponden al mayor consumo energético en el sector Transporte, siendo este combustible alrededor del 99% del consumo total final

Figura 29. Distribución del consumo de combustibles en sector Transporte



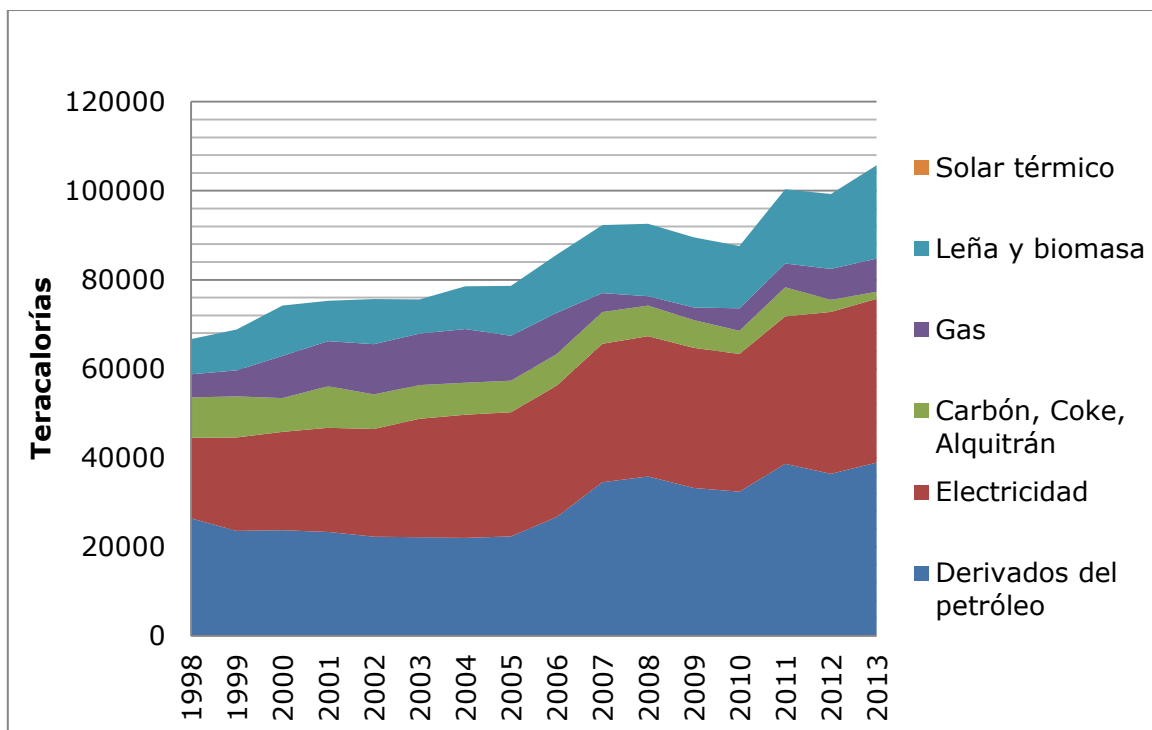
Fuente: Elaboración a partir de BNE del Ministerio de Energía y Medioambiente

en donde existe un consumo principal de los derivados del petróleo, destacándose el petróleo diésel (48,41%) y la gasolina motor (34%) para el año 2013, siendo marginales los consumos de las otras fuentes en comparación al de los combustibles.

En la **Figura 30** se presenta el sector de Industria y Minería, en el que se puede apreciar un consumo relativamente parecido entre derivados del petróleo y electricidad, aumentando a su vez el consumo de biomasa. Se destaca el uso del petróleo diésel, petróleo combustibles, electricidad, Gas Natural y Leña y otros, presentando una participación con respecto al consumo final, para el año 2013, de un 24,39%, 5,97%, 33,93%, 6,86% y 19,33%, respectivamente.

³¹ Revisar figuras 26 y 27.

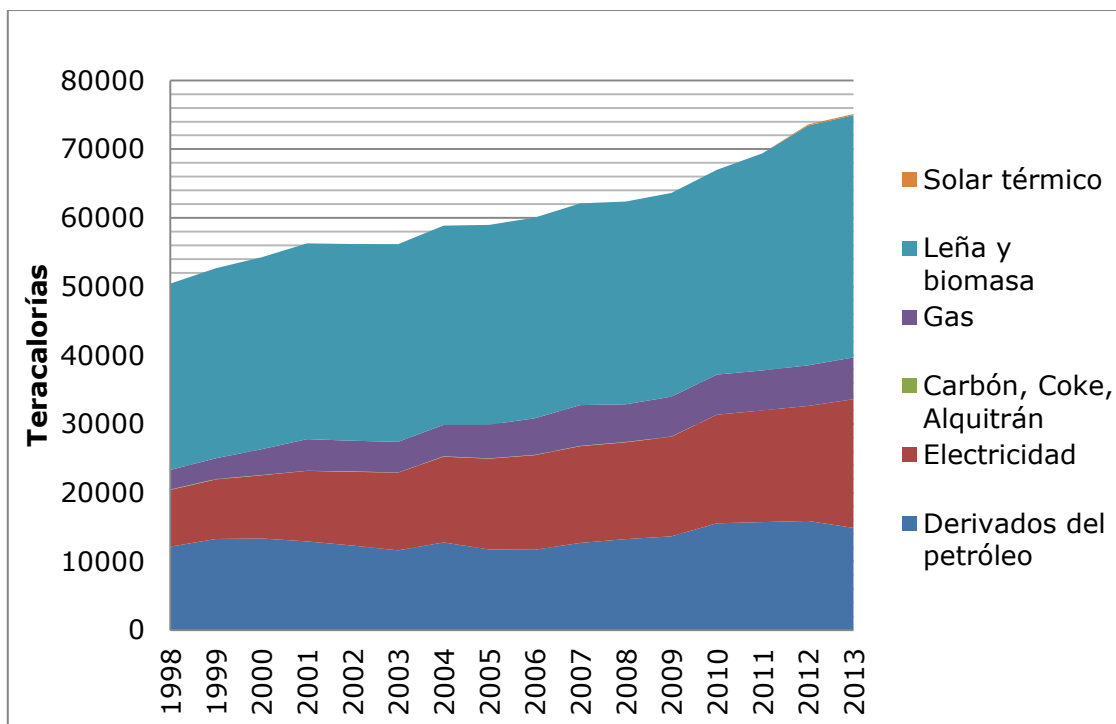
Figura 30. Distribución del consumo de combustibles en sector Industria y Minería



Fuente: Elaboración a partir de BNE del Ministerio de Energía y Medioambiente

Por último en el sector Comercial, Público y Residencial se encuentra una mayor participación de lo que corresponde a Leña y otros (biomasa) junto con el gas licuado y la electricidad, los que representan un 13,85%, 46,94% y 24,93% del consumo total final del sector (ver **Figura 31**).

Figura 31. Distribución del consumo de combustibles en sector Comercial, Público y Residencial



Fuente: Elaboración a partir de BNE del Ministerio de Energía y Medioambiente

A continuación se presentan los resultados principales del LMDI I para la versión con emisiones GEI. Cabe destacar que lo realizado es una aproximación, puesto que aún la base de datos no se cruza de manera perfecta a los factores de emisión presentados por la IPCC.

Tabla 14. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO₂, 1998 - 2004: Descomposición aditiva (TCO₂)

ΔC total	ΔC Mix	ΔC Emf	ΔC Act	ΔC Str	ΔC Int
8.913.435	1.349.713	39.529	10.244.069	1.378.159	-4.098.036

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO₂, 2004 - 2008: Descomposición aditiva (TCO₂)

ΔC total	ΔC Mix	ΔC Emf	ΔC Act	ΔC Str	ΔC Int
8.138.510	640.221	-57.061	11.382.382	-2.531.335	-1.295.696

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resultados de la descomposición energética relacionada a la emisión de CO2, 2008 - 2013: Descomposición aditiva (TCO2)

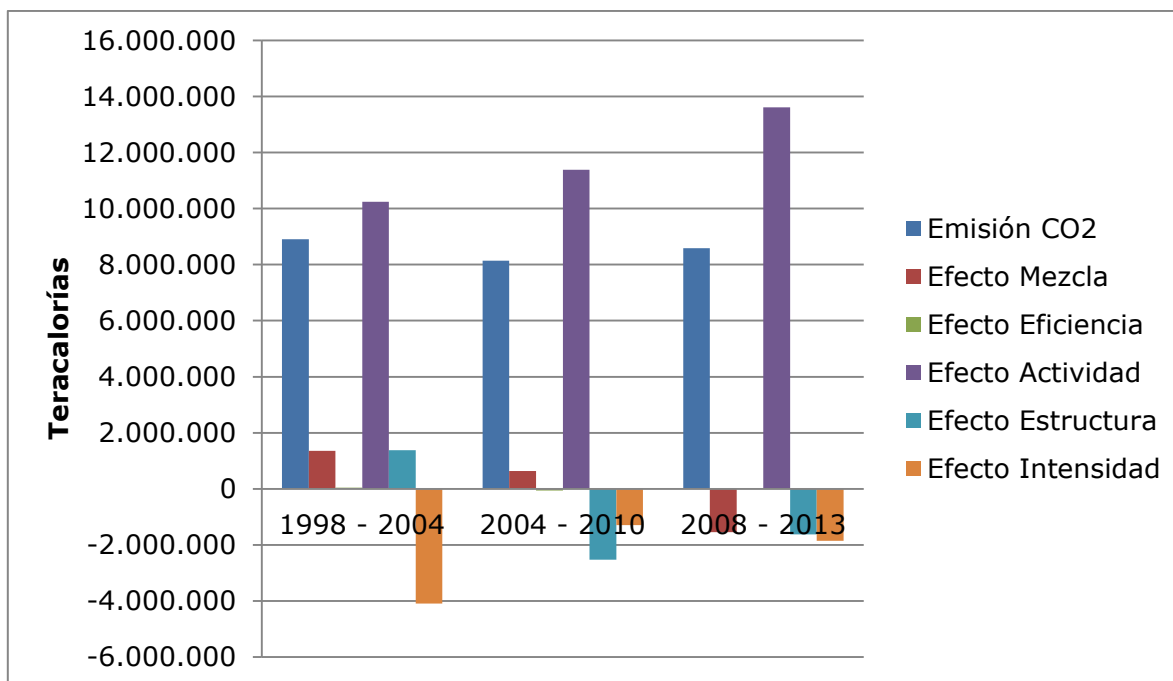
ΔC total	ΔC Mix	ΔC Emf	ΔC Act	ΔC Str	ΔC Int
8.583.911	-1.549.183	0	13.619.737	-1.630.842	-1.855.802

Fuente: Elaboración propia

En este caso los valores obtenidos no están en Teracalorías, sino que en millones de toneladas de CO2.

Se puede observar que las emisiones de CO2 aumentan en proporciones similares para los set de años incorporados, siendo el mayor entre los años 2004 y 1998, con un valor de 8.913 MTCO2 (ver **Tablas 14, 15 y 16**).

Figura 32. Resultados de la descomposición aditiva de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería



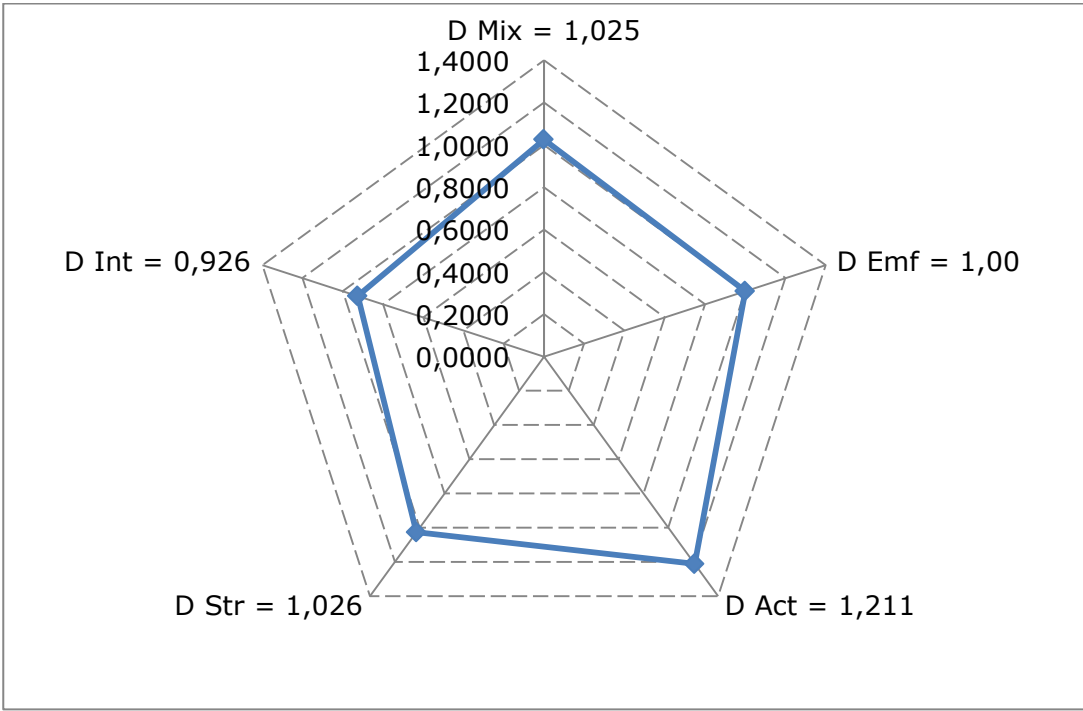
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar también que el efecto de Actividad contribuye casi duplicando su aporte a las emisiones de CO2 entre el año 2008 y 2004 (ver **Figura 32**). Sin embargo las emisiones de GEI no alcanzan los niveles del efecto actividad gracias al cambio de estructura y a una disminución en la intensidad energética sectorial.

Se puede concluir que el cambio de combustible impacta en una baja en las emisiones de CO₂, principalmente entre el año 2013 y 2008, lo cual significa que se cambian algunas fuentes de energía por otras más limpias. Se tiene que el efecto de eficiencia presenta un aporte nulo en comparación al resto, presentando un aporte en las emisiones para los años 1998 - 2004, posiblemente debido a que se está tomando como punto de término el año en el que se imponen las restricciones de GNL. Para 2004 - 2008 contribuye a una baja en las emisiones con valores imperceptibles.

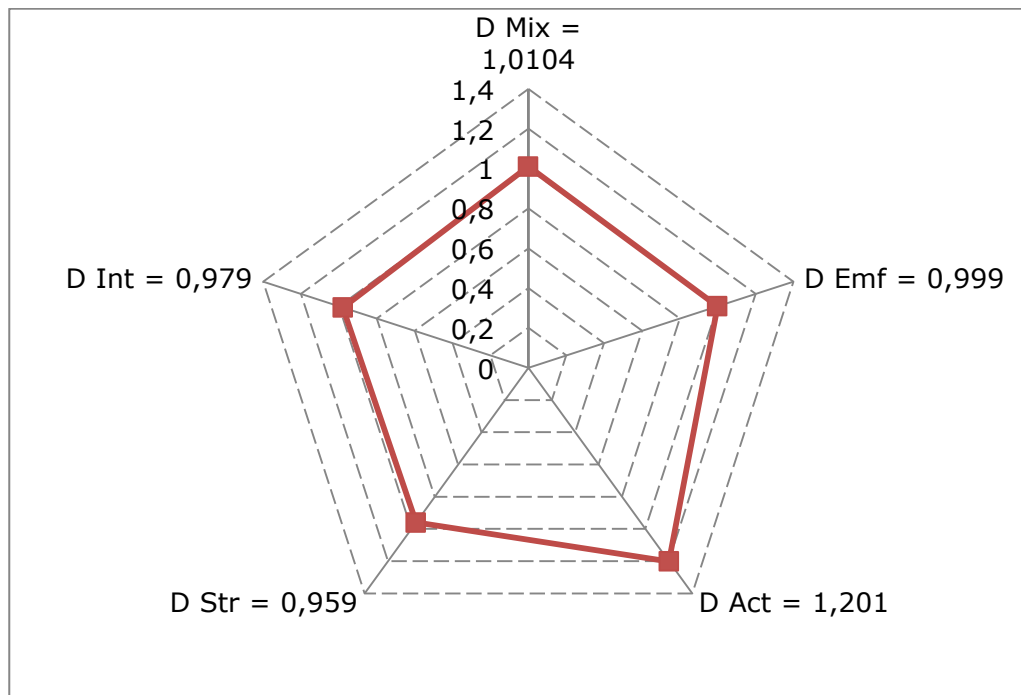
En las **Figuras 33, 34 y 35** se puede observar cómo se mueven los efectos para distintos años mediante el uso de la descomposición multiplicativa.

Figura 33. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 1998 - 2004



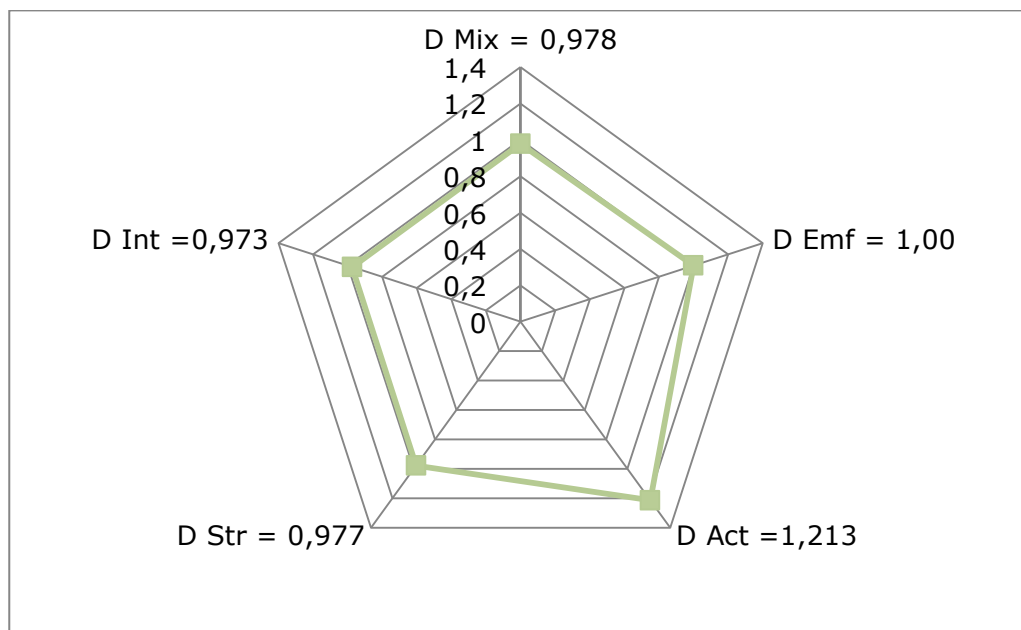
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 2004 - 2008



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Resultados de la descomposición multiplicativa de los cambios en las emisiones de GEI para los sectores Transporte, CPR, Industria y Minería 2010 - 2013



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados calzan con lo presentado en los cálculos del LMDI I para el caso de los sectores agregados, ya que refleja una disminución en el efecto de intensidad, así como en el de estructura en algunos tramos. Es importante que el lector revise los argumentos expuestos en las primeras secciones, junto con los antecedentes energéticos de los períodos respectivos para mayor entendimiento.

12 CONCLUSIONES

Tanto el crecimiento demográfico como el económico han provocado que la demanda de distintos bienes y servicio haya aumentado en las últimas décadas.

Por otro lado, aquellos países que dependen de otros en gran medida para suplir la demanda por diversos tipos de combustibles, en particular el gas y el petróleo, se ven profundamente afectados por las condiciones exógenas a estos que los hacen buscar otros medios para poder atenuar las consecuencias de las fluctuaciones económicas como de las condiciones internacionales.

Es por esto que la Eficiencia Energética aparece como una alternativa que espera brindar a países como Chile, una vía mediante la cual poder utilizar de mejor manera las fuentes de energía y así disminuir el consumo global del país, mejorando el bienestar social, disminuyendo los precios de la electricidad, y entregando una mejor estructura de consumo.

Para lograr estándares internacionales en términos de la eficiencia en el consumo final, el país ha propuesto una serie de medidas vistas en el documento, como lo son el Plan País de Eficiencia Energética, la Ley de Eficiencia Energética, la Agenda de Energía, entre otras. Cuyo objetivo principal es poder guiar el sistema hacia uno más eficiente.

Es por esto que se hace necesario el incorporar métricas de análisis que permitan ir monitoreando la situación tanto a nivel macro como microeconómico, tomando en cuenta que deben ser acompañadas por buenas bases de datos que permitan realizar análisis más complejos. Es aquí donde los Métodos de Descomposición por Índices juegan un papel sumamente importante, ya que permiten de manera sencilla, realizar análisis periódicos de la evolución del consumo final de energía, brindando una métrica robusta y que permite incluso utilizarla sobre proyecciones futuras.

Tomando en cuenta lo anterior, el **primer eje** al que apuntan las conclusiones del presente informe es sobre la **metodología en sí y sobre los principales acontecimientos que influyen dentro de los períodos de evaluación.**

El método LMDI I resulta ser el más óptimo para ser aplicado en Chile, producto de su sencillez en cuanto a la aplicación y a la extensión de nuevos efectos, sin embargo dado que las bases de los balances de energía y las cuentas nacionales no se cruzan de manera perfecta, se debe realizar para los casos agregados, perdiendo cierto nivel de consistencia y conclusiones interesantes. Esto es producto de que no se puede realizar un *background* sólido e ir verificando cada sub sector para observar los aportes tanto al aumento como disminución en el consumo de energía.

En cuanto a los acontecimientos encontrados, se puede concluir que el principal antecedente que desencadena un desequilibrio en toda la matriz energética del país es la crisis del gas natural del año 2004, la que arrastra sus consecuencias hasta el período 2008 - 2013 efectuado en el análisis, conclusión interesante puesto que muestra lo complejo que es depender de una sola fuente de energía, sobre todo para un país cuyos niveles de importación son de alrededor del 80% en promedio.

Por último, el LMDI puede ser aplicado para verificar las legislaciones que planean disminuir el consumo energético, como el Plan Nacional de Eficiencia Energética, para esto es necesario contar con la línea base de la energía útil propuesta por el Gobierno de Chile y en paralelo utilizar las fórmulas del LMDI I para poder ver cómo van variando todos los efectos vistos en el presente informe. Por lo que si se explota aún más su uso y se logran mejorar las bases de datos, puede resultar una métrica de evaluación bastante potente y compleja.

El **segundo eje** corresponde a la **necesidad de información centralizada y coherente en las políticas públicas chilenas.**

Una de las principales dificultades que se puede destacar en el desarrollo del presente informe, es el de la obtención de información correlacionada y coherente en materia de políticas públicas, para la posterior aplicación de la metodología, esto producto de que las bases de datos poseen diferencias importantes en cuanto a segmentación de sub sectores, por lo que el desagregar la información para hacerla coincidir se vuelve una tarea bastante laboriosa. En particular se destaca que los balances de energía

poseen divisiones de sus principales sectores (Transporte, CPR e Industria y Minería) diferentes a las de los archivos de las cuentas nacionales (PIB), dificultando que el método de Divisia carezca de términos residuales.

Por otro lado la poca centralización y acceso a la información contribuyen a que el proceso de cálculo y análisis tome bastante tiempo, puesto que se debe en primera instancia localizar toda la data necesaria (en diversas fuentes y muchas veces con información faltante) para que, de este modo, recién se pueda comenzar a visualizar los mecanismos de adaptación de la información. Se puede decir entonces que a Chile le falta mucho por mejorar en términos del acceso a los datos para trabajar en la inclusión de métricas de energía. Un buen ejemplo de un manejo avanzado de las bases de datos son Canadá y Estados Unidos, países que poseen información centralizada y correlacionada entre sí en los sitios web en donde presentan sus balances y cuentas nacionales.

Si se considera sólo el caso de Estados Unidos, se tienen bases de datos abiertas y actualizadas al año 2015 en el sitio web del Departamento de Comercio, en Bureau of Economics Analysis, que presenta el PIB con diversas separaciones, desde Industrias hasta calculado según índices económicos, brindando una gama importante para que el investigador pueda trabajar. El PIB por industria presenta una desagregación completa en 81 sub sectores económicos, por lo que el poder realizar un orden posterior es bastante interesante y relativamente sencillo, desagregando aspectos como los financieros del estado, como seguros, rentas y prestamos, hasta en servicios educacionales, de salud y asistencia social. Además de esto se puede mencionar el caso de la Comisión de Energía de California, la cual entrega información sobre la oferta y la demanda en el consumo hasta el año 2015 desagregado no solo por sector sino que también por plantas de producción, incorporando costos de generación, recursos utilizados, infraestructura, generación neta según recursos energéticos y según estado, entre otros, junto con una **proyección de demanda abierta hasta el año 2022** permitiendo poder acceder a un mayor número de análisis numéricos y tener una correlación más directa entre los hechos ocurridos en períodos distintos de años y los resultados obtenidos. Situación que no ocurre en Chile, en donde, como se analiza a lo largo de la presente tesis, existen falencias importantes en el sistema en términos del acceso y la coherencia de los datos (estructura), lo cual presenta un nuevo desafío que se basa en poder lograr conformar bases de datos sólidas como las de países, Canadá, Estados

Unidos, Nueva Zelanda, entre otros, y de este modo poder especializar y dar mayor énfasis a las métricas de eficiencia energética.

Se concluye con los objetivos específicos planteados cumplidos, ya que se logran superar las expectativas de aplicación, pudiendo utilizar las fórmulas incluso para el caso de las emisiones de carbono, se espera que generaciones posteriores puedan utilizar el presente trabajo y de este modo ir mejorando en lo que respecta a brindarle nuevas métricas de evaluación al país y así evaluar de manera robusta y consistente la evolución en el consumo de energía.

13 RECOMENDACIONES PARA POSTERIORES ANÁLISIS

Tal y como se menciona en las conclusiones, los métodos ID son bastante completos y robustos, sólo cuando la base de datos utilizada es coherente entre si y permite realizar una descomposición perfecta, es por esto que dada la dificultad para obtener la información durante el desarrollo del trabajo se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Incorporar datos sobre el sector Transporte, como lo son los kilómetro - pasajero y kilómetro - carga, lo cual abre las puertas a realizar cálculos sobre efectos nuevos y permiten descomprimir el sector.
2. Contar con información centralizada y correlacionada, lo cual implica definir una estructura fija en cuanto a sub sectores para el balance de energía y la información del PIB (ver **Tabla 17**), junto con otros datos de utilidad como los presentados en el informe.
3. Utilizar el LMDI para comparar la línea base con las propuestas del Ministerio para disminuir el consumo, se deben utilizar como años de estudio, por ejemplo el 2011 - 2020, para evaluar las diferencias en términos de energía por sector.
4. Establecer un apartado en el que se muestren proyecciones de demanda y energía útil públicas para un set amplio de años, así como de oferta e infraestructura para que de este modo se pueda acceder a realizar el método LMDI I sobre proyecciones futuras del consumo de energía.

La forma en que debiesen presentarse los datos, a modo de tener un protocolo estándar que permita utilizar las métricas de forma más consistente es la siguiente:

Tabla 17. Matriz propuesta de datos

Sector	Consumo Final (Tcal)	Consumo Efectivo(Tcal)	Emisión CO2 eq.	PIB (CLP)
Transporte				
Sub sectores				
Transporte				
Ind. y Min.				
Sub sectores				
Ind. y Min.				
Comercial, Público y Residencial				

Fuente: Elaboración propia

Con el dato de la proyección de la energía útil consumida se pueden utilizar las ecuaciones presentes en el Anexo 3, entregando un valor estimado del panorama futuro en términos de consumo, no incorpora factores exógenos puesto que es un método ex post.

Esto es el primer paso para poder avanzar no sólo en términos de tecnologías y medidas propuestas de Eficiencia Energética, sino que de manera de realizar nuevas investigaciones y métodos de apoyo que permitan evaluar la eficacia de las nuevas legislaciones (relacionadas a la disminución del consumo energético) propuestas por el Ministerio de Energía en conjunto con el Gobierno de Chile.

14 GLOSARIO

PREFIJOS DE UNIDADES

Kilo Prefijo equivalente a mil.

Mega Prefijo equivalente a un millón.

Giga Prefijo equivalente a mil millones.

Tera Prefijo equivalente a un millón de millones.

UNIDADES DE ENERGÍA

CAL (Caloría)

Técnicamente corresponde a la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua destilada a 14,5°C a 15,5°C a nivel del mar, y a una atmósfera de presión. Una caloría es equivalente a 4,1858 Joules del sistema internacional de medida.³²

mmBTU

Millones de unidades térmicas británicas.

Joule

Unidad del Sistema Internacional de Unidades para energía en forma de calor (Q) y trabajo (W).

DEFINICIONES³³

Las definiciones posteriores se obtienen del Plan de Acción de Eficiencia Energética.

Energía primaria

Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma directa (como la energía hidráulica, biomasa, leña, eólica y solar) o indirecta (después de atravesar por un proceso minero, como por ejemplo la extracción de petróleo crudo, gas natural, carbón mineral, etc.) para su uso energético, sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación.

Energía secundaria

Se denomina energía secundaria a los productos resultantes de las transformaciones o elaboración de recursos energéticos naturales (primarios)

³² Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020

³³ Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020.

o en determinados casos a partir de otra fuente energética ya elaborada (por ej. alquitrán). Este proceso de transformación puede ser físico, químico o bioquímico, modificándose así sus características iniciales.

Eficiencia Energética

es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.

Consumo energético final

Cubre las entregas de productos a consumidores para actividades que no sean la conversión de los combustibles ni actividades de transformación ya definidas en la estructura del Balance Nacional de Energía.

Dependencia energética

Internacionalmente este indicador se establece como la razón entre nivel de importaciones sobre la Oferta Total de Energía Primaria.

Gases efecto invernadero (GEI)

Son aquellos cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero en la tierra, que aumenta la temperatura en la atmósfera, ya que estos gases atrapan radiación infrarroja proveniente del suelo calentado por radiación solar. Los principales GEI son el vapor de agua, CO₂ y metano.

Energía Útil

La energía útil disponible (EUD) es aquella que se encuentra disponible luego del sistema de uso para la producción de un bien o la necesaria para la satisfacción de una necesidad³⁴.

Central de Ciclo Combinado

La central térmica de ciclo combinado es aquella donde se genera electricidad mediante la utilización conjunta de dos turbinas:

- Un turbogrupo de gas
- Un turbogrupo de vapor

³⁴ Ministerio de Energía, Gobierno de Argentina.

Es decir, para la transformación de la energía del combustible en electricidad **se superponen dos ciclos**:

- **El ciclo de Brayton** (turbina de gas): toma el aire directamente de la atmósfera y se somete a un calentamiento y compresión para aprovecharlo como energía mecánica o eléctrica.
- **El ciclo de Rankine** (turbina de vapor): donde se relaciona el consumo de calor con la producción de trabajo o creación de energía a partir de vapor de agua³⁵.

Central de Ciclo Abierto

En las centrales térmicas convencionales (o termoeléctricas convencionales) se produce electricidad a partir de combustibles fósiles como carbón, fueloil o gas natural, mediante un ciclo termodinámico de agua-vapor. El término 'convencionales' sirve para diferenciarlas de otras centrales térmicas, como las nucleares o las de ciclo combinado³⁶.

ABREVIATURAS

AChEE: Agencia Chilena de Eficiencia Energética

AIE: Agencia Internacional de Energía

BNE: Balance Nacional de Energía

BCM: Billones de Metros Cúbicos

CNE: Comisión Nacional de Energía

EE: Eficiencia Energética

ERNC: Energías Renovables No Convencionales

GEI: Gases de Efecto Invernadero

I+D: Investigación y Desarrollo

³⁵ ENDESA Educa.

³⁶ ENDESA Educa.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas

ME: Ministerio de Energía

MJ: Mega Joule

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

PIB: Producto Interno Bruto

PKM: Pasajeros Kilómetro

PNAEE: Plan Nacional de Acción en Eficiencia Energética

SIC: Sistema Interconectado Central

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande

TCAL: Tera calorías

TKM: Toneladas Kilómetro

15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fisher I. The making of index numbers. 3rd ed. Boston, MA: Houghton Mifflin, 1972.
- [2] B.W. Ang Decomposition methodology in industrial energy demand analysis. *Energy* 1995;20(11):1081–95.
- [3] Hulten CR. Divisia index numbers. *Econometrica* 1973;41(6):1017–25.
- [4] Diewert WE. Recent developments in the economic theory of index numbers: capital and the theory of productivity. *American Economic Review* 1980;70(2):260–7.
- [5] Divisia F. L'indice monetaire et al theorie de la monnaie. *Revue Divisia Economic Politique* 1925;9(2):109–35.
- [6] Boyd GA, Hanson DA, Sterner T. Decomposition of changes in energy intensity—a comparison of the Divisia index and other methods. *Energy Economics* 1988;10(4):309–12.
- [7] Ang BW, Choi KH. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal* 1997;18(3):59–73.
- [8] Vartia, Y.O. Relative changes and economic Indices. Licenciante Thesis, Department of Statistics, University of Helsinki, 1974.
- [9] Sato K. The ideal log-change index number. *The Review of Economics and Statistics* 1976;58:223–8.
- [10] B.W. Ang, G. Pandiyan Decomposition of energy - induced CO2 emissions in manufacturing. *Energy Economics* 19(1997) 363 - 374.
- [11] Charles R. Hulten Divisia Index Numbers. *Econometrica*, Vol. 41, No.6 (November, 1973).
- [12] B.W. Ang, Ki-Hong Choi Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method. *The Energy Journal*, Vol. 18, No. 3 (1997), pp. 59-73, IAEE.
- [13] B.W. Ang, F.Q. Zhang, Ki-Hong Choi. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators Through Decomposition. *Energy* Vol. 23, No. 6, pp. 489 - 495, 1998.
- [14] B.W. Ang. A Simple Guide to LMDI Decomposition Analysis, Department of Industrial and Systems Engineering National University of Singapore, 2012.
- [15] B.W. Ang. The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide. *Energy Policy* 33 (2005) 867 - 871.

- [16] B.W. Ang, Na Liu. Handling Zero Values in the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Approach. *Energy Policy* 35 (2007) 238 - 246.
- [17] B.W. Ang, F.Q. Zhang. Inter-regional comparisons of energy-related CO₂ emissions using the decomposition technique. *Energy* 1999;24(4):297-305.
- [18] Sato K. The ideal log-change index number. *The Review of Economics and Statistics* 1976;58:223-8.
- [19] Boyd G.A., Hanson D.A., Sterner T. Decomposition of changes in energy intensity—a comparison of the Divisia index and other methods. *Energy Economics* 1988;10(4):309-12.
- [20] B.W. Ang, F.Q. Zhang. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy* 25 (2000) 1149-1176.
- [21] Greening LA, Davis W.B., Schipper L. Decomposition of aggregate carbon intensity for the manufacturing sector: comparison of declining trends from 10 OECD countries for the period 1971-1991. *Energy Economics* 1998;20(1):43-65.
- [22] B.W. Ang. Attribution of changes in Divisia real energy intensity index - An extension to index decomposition analysis. *Energy Economics* 2012; 34: 171 - 176.
- [23] B. W. Ang, Na Liu. Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy* 35 (2007) 739 - 742.
- [24] Mathew Brander, Aman Sood, Charlotte, Wylie, Amy Haughton, Jessica Lovell. Technical Paper, Electricity - specific emission factors for grid electricity. *Ecometrica*, 2011.
- [25] Gustavo A. Marrero, Francisco J. Ramos - Real. Activity Sectors and Energy Intensity: Decomposition Analysis and Policy Implications for European Countries (1991 - 2005). *Energies* 2013, 6, 2521 - 2540;doi:10.3390/en6052521.
- [26] Raúl O'Ryan, Daniel Sperling, Tom Turrentine, Mark Delucchi. *Transportation in Developing Countries: Greenhouse Gas Scenarios For Chile*.
- [27] Md Shahiduzzaman, Khorshed Alam. Change in energy efficiency in Australia: A decomposition of aggregate energy intensity using Logarithmic Mean Divisia approach. MRPA Paper No. 36250, posted 28. January 2012 14:28 UTC.
- [28] John Nyboer, Michelle Bennett. *Development of Greenhouse Gas Intensity Indicators for Canadian Industry, 1990 - 2011*. Canadian

- Industrial Energy End-use Data and Analysis Centre, Simon Fraser University, Burnaby, BC.
- [29] International Energy Agency, "Energy Technology Perspectives 2014, Harnessing Electricity's Potential".
- [30] International Panel on Climate Change, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- [31] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile, El Crecimiento de los Hogares en Chile, Proyección y Análisis de la Evolución de los Hogares a Escala Nacional, Regional y Comunal (2002 - 2018).
- [32] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, República de Argentina [En Línea] <http://www.indec.mecon.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=3&id_tema_2=5&id_tema_3=31> [Fecha Consulta: 25 Junio 2015].
- [33] Universidad de Valencia, "Números Índices de Precios" [En Línea] <<http://www.uv.es/ceaces/numindices/iprecios.htm>> [Fecha Consulta: 27 Junio 2015].
- [34] Banco Mundial, Datos, "Índice de Deflación del PIB" [En Línea] <<http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.DEFL.ZS?page=3>> [Fecha Consulta: 22 Mayo 2015].
- [35] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Índices de Precios al Consumidor (IPC) Base Anual 2013".
- [36] Banco Mundial, Datos, "Inflación, índice de deflación del PIB (% anual)" [En Línea] <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.DEFL.KD.ZG?order=wbapi_data_value_2010+wbapi_data_value+wbapi_data_value-first&sort=asc> [Fecha Consulta: 22 Mayo 2015].
- [37] United States Environmental Protection Agency, GHG Measurement Tools, GHG Emission Factors Hub [En Línea] <<http://www.epa.gov/climateleadership/center-corporate-climate-leadership-ghg-emission-factors-hub>> [Fecha Consulta: 18 Octubre 2015].
- [38] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Factores de emisiones para combustibles utilizados en Chile [En Línea] <<http://huelladecarbono.minenergia.cl/combustible-chile>> [Fecha Consulta: 18 Octubre 2015].
- [39] United States Environmental Protection Agency, Energy and the Environment, Greenhouse Gas Equivalences Calculator [En Línea]

- <<http://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>> [Fecha Consulta: 19 Octubre 2015].
- [40] United States Energy Information Administration, Environment, Carbon Dioxide Emission Coefficients [En Línea] <http://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm> [Fecha Consulta: 19 Octubre 2015].
- [41] United States Energy Information Administration, Electricity, Annual, Table A.3. Carbon Dioxide Uncontrolled Emission Factors [En Línea] < http://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_a_03.html> [Fecha Consulta: 19 Octubre 2015].
- [42] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2001".
- [43] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2002".
- [44] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2003".
- [45] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2004".
- [46] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2005".
- [47] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2006".
- [48] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2007".
- [49] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, Anuarios Estadísticos, "Anuario de Edificación 2008".
- [50] Banco Central de Chile, Base de Datos Estadísticos, Cuentas Nacionales, PIB gasto e ingreso, Empalmes con series referencia 2008, PIB por clase de actividad económica [En Línea] < <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx>> [Fecha Consulta: 13 Abril 2015].
- [51] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Balances Energéticos [En Línea] < http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Balances_Energ.html> [Fecha Consulta: 9 Abril 2015].
- [52] Ministerio de Energía de Chile, "Agenda de Energía, Un desafío, Progreso para Todos", Junio 2014.

- [53] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2001".
- [54] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2002".
- [55] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2006".
- [56] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2007".
- [57] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2009".
- [58] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2010".
- [59] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2011".
- [60] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, "Estadísticas Vitales, Informe anual 2012".
- [61] Banco Central de Chile, "Cuentas Nacionales de Chile 1996 - 2004".
- [62] Banco Central de Chile, "Cuentas Nacionales de Chile 2003 - 2010".
- [63] Banco Central de Chile, "Cuentas Nacionales de Chile 2008 - 2014".
- [64] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020.
- [65] International Energy Agency, World Energy Outlook 2012.
- [66] Greenhouse Gas Protocol, Global Warming Potentials, 2014.
- [67] International Energy Agency, Chile Energy Policy Review, 2009.
- [68] International Energy Agency, Chile, Oil & Gas Security Emergency Response of IEA Countries, 2012.
- [69] International Energy Agency, Chile, Energy Supply Security, 2014.

16 ANEXOS

Anexo 1. Fórmulas de métodos ID en forma multiplicativa, basados en la ecuación (1)

Approach	Formulae	Representative studies	
$\frac{V_T}{V_0} = \prod_{k=1}^n D_k$	Laspeyres	$D_k = \frac{\sum_i X_{i1,0} \dots X_{ik,T} \dots X_{in,0}}{\sum_i X_{i1,0} \dots X_{ik,0} \dots X_{in,0}}$	Ang [3] Doblin [30] Howarth [54]
	Arithmetic mean	$D_k = \exp \left\{ \sum_i \left(\frac{\omega_{i,0} + \omega_{i,T}}{2} \right) \ln \frac{X_{ik,T}}{X_{ik,0}} \right\}$	Boyd et al. [22] Gardner [39] Shrestha and Timilsina [102]
	Log mean	$D_k = \exp \left\{ \sum_i \left[\frac{L(\omega_{i,0}, \omega_{i,T})}{\sum_i L(\omega_{i,0}, \omega_{i,T})} \right] \ln \frac{X_{ik,T}}{X_{ik,0}} \right\}$	Ang and Choi [9] Choi [26] Zhang and Ang [123]
	Others	Paasche	$D_k = \frac{\sum_i X_{i1,T} \dots X_{ik,T} \dots X_{in,T}}{\sum_i X_{i1,T} \dots X_{ik,0} \dots X_{in,T}}$

Fuente: The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide, B.W. Ang*, 2005

Nota: $\omega_i = \frac{X_{i1}X_{i2} \dots X_{in}}{\sum_i X_{i1}X_{i2} \dots X_{in}}$ y $L(x,y)$ es la función de medias logarítmicas

Anexo 2. Fórmulas de métodos ID en forma aditiva, basados en la ecuación (1)

Approach	Formulae	Representative studies		
$\Delta V = \sum_{k=1}^n \Delta V_k$	Laspeyres	$\Delta V_k = \sum_i X_{i1,0} \dots (X_{ik,T} - X_{ik,0}) \dots X_{in,0}$	Howarth et al. [55] Meyers and Schipper [78] Park [86]	
	Divisia	Arithmetic mean	$\Delta V_k = 0.5 \sum_i (V_{i,0} + V_{i,T}) \ln \frac{X_{ik,T}}{X_{ik,0}}$	Boyd et al. [21] Lin and Chang [70] Liu et al. [73]
		Log mean	$\Delta V_k = \sum_i L(V_{i,0}, V_{i,T}) \ln \frac{X_{ik,T}}{X_{ik,0}}$	Ang and Zhang [15] Ang et al. [16]
	Paasche	$\Delta V_k = \sum_i X_{i1,T} \dots (X_{ik,T} - X_{ik,0}) \dots X_{in,T}$	Ang [6] Ang and Lee [11] Liu et al. [74]	
	Others	Marshall–Edgeworth	$\Delta V_k = 0.5 \sum_i \left(\prod_{j \neq k} X_{ij,T} + \prod_{j \neq k} X_{ij,0} \right) (X_{ik,T} - X_{ik,0})$	Ang and Lee [11] Farla et al. [36] Reitler et al. [91]
Refined Laspeyres		$\Delta V_k = \left\{ \left[\sum_i X_{i1,0} \dots (X_{ik,T} - X_{ik,0}) \dots X_{in,0} \right] + \right.$ (equally distributed high order interaction terms) $\left. \right\}$	Raggi and Barbiroli [90] Stern [106] Sun [107]	

Fuente: The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide, B.W. Ang*, 2005

Anexo 3. Fórmulas para la descomposición de cambios en el consumo energético

IDA identity	$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q S_i I_i$	
Change scheme	Multiplicative decomposition $D_{tot} = E^T / E^0 = D_{act} D_{str} D_{int}$	Additive decomposition $\Delta E_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$
LMDI formulae	$D_{act} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \right)$ $D_{str} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right)$ $D_{int} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right)$	$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right)$ $\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right)$ $\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right)$

Fuente: The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide, B.W. Ang*, 2005

Anexo 4. Fórmulas para la descomposición de cambios en términos de emisiones de CO2 relacionadas a energía en el consumo energético

IDA identity	$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i E_i E_{ij} C_{ij}}{Q_i E_i E_{ij}} = \sum_{ij} Q S_i I_i M_{ij} U_{ij}$	
Change scheme	Multiplicative decomposition $D_{tot} = C^T / C^0 = D_{act} D_{str} D_{int} D_{mix} D_{emf}$	Additive decomposition $\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf}$
LMDI formulae	$D_{act} = \exp \left(\sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \right)$ $D_{str} = \exp \left(\sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right)$ $D_{int} = \exp \left(\sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right)$ $D_{mix} = \exp \left(\sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0} \right) \right)$ $D_{emf} = \exp \left(\sum_{ij} \frac{(C_{ij}^T - C_{ij}^0) / (\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0)}{(C^T - C^0) / (\ln C^T - \ln C^0)} \ln \left(\frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right) \right)$	$\Delta C_{act} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right)$ $\Delta C_{str} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right)$ $\Delta C_{int} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right)$ $\Delta C_{mix} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0} \right)$ $\Delta C_{emf} = \sum_{ij} \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right)$

Fuente: The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide, B.W. Ang*, 2005

Anexo 5. Tabla de conversión de unidades energéticas internacionales

Tabla de Conversión unidades energéticas Internacionales (OLADE) (*)									
	Beep	Tep	Tcal	Tjoule	10E+3 BTU	MWh	Kg GLP	M ³ Gas Natural	Pie ³ Gas Natural
Beep	1,00E+00	0,1378	1,39E-03	5,81E-03	5,52E+03	1,61E+00	1,31E+02	1,67E+02	5,92E+03
Tep	7,21E+00	1,00E+00	1,00E-02	4,18E-02	3,98E+04	1,16E+01	9,44E+02	1,20E+03	4,26E+04
Tcal	7,21E+02	1,00E+02	1,00E+00	4,18E+00	3,98E+06	1,16E+03	9,44E+04	1,20E+05	4,26E+06
Tjoule	1,72E+02	2,39E+01	2,39E-01	1,00E+00	9,52E+05	2,78E+02	2,26E+04	2,88E+04	1,02E+06
10 ³ BTU	1,80E-04	2,51E-05	2,50E-07	1,05E-06	1,00E+00	2,90E-04	2,37E-02	3,03E-02	1,07E+00
MWh	6,20E-01	8,60E-02	8,60E-04	3,60E-03	3,42E+03	1,00E+00	8,12E+01	1,04E+02	3,67E+03
Kg GLP	7,63E-03	1,06E-03	1,06E-05	4,43E-05	4,22E+01	1,23E-02	1,00E+00	1,28E+00	4,51E+01
M ³ Gas Natural	5,98E-03	8,30E-04	8,30E-06	3,47E-05	3,30E+01	9,65E-03	7,84E-01	1,00E+00	3,54E+01
Pie ³ Gas Natural	1,70E-04	2,35E-05	2,35E-07	9,81E-07	9,34E-01	2,72E-04	2,21E-02	2,83E-02	1,00E+00

Fuente: Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía y Medioambiente

Anexo 6. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 1998 - 2002

Descripción/Año	1998	1999	2000	2001	2002
Agropecuario-silvícola	1.431.447	1.407.227	1.513.248	1.597.073	1.646.491
Pesca	253.108	263.503	283.192	306.322	335.097
Minería	11.762.275	12.924.257	13.339.296	13.885.992	13.363.136
Minería del cobre	10.105.481	11.691.339	12.143.834	12.615.117	12.109.581
Otras actividades mineras	1.259.267	1.143.434	1.148.726	1.210.646	1.180.600
Industria Manufacturera	7.951.047	7.884.742	8.320.564	8.314.338	8.469.451
Alimentos, bebidas y tabaco	2.798.448	2.807.962	2.943.592	3.051.946	3.083.308
Textil, prendas de vestir, cuero y calzado	397.945	375.354	365.271	322.122	310.683
Maderas y muebles	652.343	662.044	718.416	706.358	693.951
Celulosa, papel e imprentas	857.267	889.106	918.034	863.412	925.314
Química, petróleo, caucho y plástico	1.391.901	1.405.880	1.503.507	1.507.816	1.558.068
Minerales no metálicos y metálica básica	833.715	739.290	786.319	781.415	783.497
Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto	1.064.082	1.032.240	1.136.685	1.171.433	1.177.526
Electricidad, gas y agua	2.572.137	2.409.807	2.560.757	2.575.485	2.585.154
Construcción	5.226.335	4.657.828	4.616.175	4.788.780	4.901.805
Comercio, restaurantes y hoteles	5.781.042	5.539.425	5.671.348	5.750.236	5.826.847
Transporte	2.876.912	2.830.806	3.050.216	3.203.295	3.426.791
Comunicaciones	721.664	817.556	930.823	1.057.825	1.144.995
Servicios financieros y empresariales	6.913.557	7.212.090	7.966.683	8.524.246	9.065.498
Servicios de vivienda	3.492.272	3.594.389	3.679.278	3.754.620	3.835.631
Servicios personales	6.885.790	6.930.401	7.104.462	7.279.439	7.400.797
Administración pública	2.998.226	3.042.000	3.087.740	3.140.812	3.200.756
Impuesto al valor agregado	4.587.842	4.533.260	4.733.959	4.871.579	4.966.890
Derechos de Importación	200.849	173.873	201.938	205.410	211.866
Producto Interno Bruto	62.530.098	62.188.442	65.372.654	67.508.951	69.325.028

Fuente: Elaboración propia, basado en Cuentas Nacionales, Banco Central de Chile

Anexo 7. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 2003 - 2007

Descripción/Año	2003	2004	2005	2006	2007
Agropecuario-silvícola	1.735.084	1.931.699	2.202.172	2.479.928	2.558.005
Pesca	301.722	369.637	370.554	354.917	351.052
Minería	13.690.077	13.876.963	13.128.187	13.299.056	13.672.388
Minería del cobre	12.585.097	12.715.312	11.973.909	12.116.689	12.473.048
Otras actividades mineras	1.120.528	1.160.185	1.159.794	1.190.457	1.197.473
Industria Manufacturera	8.610.581	9.135.890	9.582.334	10.099.724	10.343.494
Alimentos, bebidas y tabaco	3.138.798	3.276.008	3.413.911	3.557.499	3.634.387
Textil, prendas de vestir, cuero y calzado	315.702	349.984	375.737	412.504	382.876
Maderas y muebles	725.386	777.744	766.750	760.746	631.295
Celulosa, papel e imprentas	986.940	1.107.480	1.093.603	1.175.517	1.377.800
Química, petróleo, caucho y plástico	1.568.572	1.670.732	1.795.976	1.970.078	2.014.911
Minerales no metálicos y metálica básica	819.164	882.381	930.134	947.002	945.973
Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto	1.126.518	1.136.194	1.241.065	1.258.134	1.358.849
Electricidad, gas y agua	2.671.099	2.797.825	2.974.660	3.212.589	2.395.871
Construcción	5.017.884	5.188.193	5.691.324	5.923.634	6.210.455
Comercio, restaurantes y hoteles	6.092.901	6.750.768	7.516.885	8.170.344	8.709.654
Transporte	3.805.958	3.914.743	4.080.559	4.287.304	4.461.896
Comunicaciones	1.210.887	1.326.781	1.420.539	1.494.546	1.669.373
Servicios financieros y empresariales	9.583.539	10.903.371	12.381.545	13.532.520	15.370.670
Servicios de vivienda	3.915.593	4.017.828	4.150.895	4.284.541	4.445.263
Servicios personales	7.524.380	7.855.489	8.177.476	8.553.841	9.022.525
Administración pública	3.263.811	3.335.980	3.464.131	3.578.500	3.706.438
Impuesto al valor agregado	5.173.594	5.611.695	6.055.322	6.453.591	6.969.064
Derechos de Importación	235.566	292.364	356.101	393.461	520.923
Producto Interno Bruto	71.940.239	76.987.661	81.742.969	86.397.688	90.856.522

Fuente: Elaboración propia, basado en Cuentas Nacionales, Banco Central de Chile

Anexo 8. PIB Chile a precios constantes, año base 2008, período 2008 - 2013

Descripción/Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Agropecuario-silvícola	2.711.891	2.594.121	2.603.169	2.876.570	2.716.149	2.788.952
Pesca	405.094	347.386	346.794	420.654	509.859	428.263
Minería	13.164.592	13.028.242	13.218.971	12.535.539	13.010.966	13.775.504
Minería del cobre	12.007.282	11.964.940	12.008.841	11.268.249	11.703.190	12.459.457
Otras actividades mineras	1.157.310	1.063.303	1.211.989	1.292.278	1.334.134	1.351.758
Industria Manufacturera	10.506.172	10.060.808	10.318.155	11.100.605	11.500.821	11.621.725
Alimentos, bebidas y tabaco	3.729.841	3.607.284	3.549.752	3.894.722	4.112.182	4.140.987
Textil, prendas de vestir, cuero y calzado	345.926	349.861	411.332	449.478	495.637	509.864
Maderas y muebles	576.377	440.141	461.757	512.083	509.700	531.659
Celulosa, papel e imprentas	1.427.606	1.442.224	1.354.463	1.491.641	1.541.771	1.552.846
Química, petróleo, caucho y plástico	2.103.302	2.001.489	2.113.808	2.113.253	2.163.491	2.204.868
Minerales no metálicos y metálica básica	875.130	841.377	881.731	1.037.252	990.197	980.108
Productos metálicos, maquinaria, equipo y resto	1.447.991	1.378.432	1.535.540	1.608.038	1.672.920	1.682.701
Electricidad, gas y agua	2.498.997	2.843.577	3.081.725	3.443.073	3.732.843	4.097.725
Construcción	6.891.485	6.523.534	6.642.910	7.094.649	7.605.364	7.902.125
Comercio, restaurantes y hoteles	9.166.284	8.638.183	9.916.227	11.113.372	11.862.765	12.589.906
Transporte	4.462.918	4.033.107	4.352.219	4.641.847	5.152.642	5.365.686
Comunicaciones	1.856.790	1.957.562	2.166.158	2.333.638	2.507.987	2.701.340
Servicios financieros y empresariales	16.311.758	16.558.933	17.665.767	19.228.250	20.501.576	21.236.113
Servicios de vivienda	4.600.617	4.766.551	4.801.816	4.922.844	5.064.129	5.153.815
Servicios personales	9.502.672	9.788.294	10.283.205	10.998.735	11.579.693	12.144.289
Administración pública	3.808.922	4.059.870	4.171.397	4.199.103	4.348.286	4.515.306
Impuesto al valor agregado	7.386.977	7.223.060	8.096.626	8.836.729	9.416.900	9.950.682
Derechos de Importación	572.764	452.035	587.432	622.438	691.546	660.505
Producto Interno Bruto	93.847.932	92.875.262	98.219.034	103.954.673	109.627.615	114.260.687

Fuente: Elaboración propia, basado en Cuentas Nacionales, Banco Central de Chile

Anexo 9. Consumo energético por sector, 1998 - 2005 (Tcal)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Total Transporte	65826	66988	69835	67320	68996	70365	73459	80206
Caminero	49443	51736	53292	50042	52037	51961	51905	55838
Ferroviario	229	265	270	268	272	275	262	245
Marítimo	8946	8281	10207	10165	9831	12275	14859	16929
Aéreo	7208	6706	6066	6845	6856	5854	6433	7193
Total Industrial y Minero	66673	68838	74210	75289	75672	75584	78537	78634
Cobre	15256	17004	18408	18936	20904	21811	20818	22709
Salitre	1214	1300	1188	1289	1424	1461	1556	1600
Hierro	1185	1028	1206	1138	1017	1120	997	994
Papel y Celulosa	8664	9657	12912	10569	12432	9588	11748	13377
Siderurgia	4766	4927	5022	4856	4909	4926	3754	4194
Petroquímica	752	893	599	660	659	869	731	701
Cemento	2193	2277	2381	2423	2187	2912	3188	2846
Azúcar	1401	1384	1255	1181	1286	857	1053	1106
Pesca	1858	1717	2060	1784	2190	1713	2440	1804
Industrias Varias	24590	23563	24178	27431	24304	26627	26333	24179
Minas Varias	4794	5088	5001	5022	4360	3700	5919	5124
Total Comercial Público, Residencial	50431	52669	54257	56282	56190	56172	58868	58972
Comercial	4043	4508	4811	5073	5717	6655	7368	7654
Público	1487	1429	1605	1532	1463	1727	2205	1816
Residencial	44901	46732	47841	49677	49010	47790	49295	49502
Total	182930	188495	198302	198891	200858	202121	210864	217812

Fuente: Elaboración propia, basado en BNE, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile

Anexo 10. Consumo energético por sector, 2005 - 2013 (Tcal)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total Transporte	81526	86924	89947	86167	83958	87189	87707	93910
Caminero	55499	59199	61208	63750	66781	69378	71197	77031
Ferrovionario	258	255	531	512	804	530	537	534
Marítimo	18416	19266	18655	14091	8919	9416	6047	6892
Aéreo	7353	8204	9553	7813	7454	7866	9926	9453
Total Industrial y Minero	85628	92294	92582	89536	87590	100326	99278	105725
Cobre	23635	25711	27045	28926	28418	31286	33549	34752
Salitre	1371	1236	1193	782	1327	1478	1596	2062
Hierro	1006	1020	1068	823	1302	1337	1819	851
Papel y Celulosa	16617	19420	19559	19894	16213	19775	23284	22944
Siderurgia	4285	4485	4262	3867	1961	4519	1682	438
Petroquímica	649	452	478	391	2323	1686	3569	3434
Cemento	2897	3087	3415	3103	2800	2613	2875	3008
Azúcar	968	869	686	473	693	1057	887	774
Pesca	1251	1278	1610	1831	3020	4094	2630	2399
Industrias Varias	27247	29356	28704	23961	21064	25957	24412	32245
Minas Varias	5701	5379	4561	5485	8468	6525	2975	2818
Total Comercial Público, Residencial	60034	62105	62373	63621	66986	69391	73591	75112
Comercial	8065	8737	9905	10041	12054	12450	12044	11752
Público	1908	1784	1778	1829	2041	2027	2752	3004
Residencial	50062	51585	50690	51751	52891	54915	58796	60356
Total	227188	241323	244902	239324	238535	256907	260577	274747

Fuente: Elaboración propia, basado en BNE, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile

Anexo 11. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 1998 - 2004

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Total Transporte	18304095	18623951	19417101	18719208	19171360	19552092	20410576
Derivados del petróleo	18206456	18532077	19309347	18601753	19031751	19409282	20254797
Electricidad	85061	78883	89813	94565	87437	89813	95153
Carbón, Coke, Alquitrán	0	0	0	0	0	0	0
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	12579	12992	17941	22890	52172	52997	60627
Leña y biomasa	0	0	0	0	0	0	0
Solar térmico	0	0	0	0	0	0	0
Total Industrial y Minero	20953936	21824022	22665651	23819813	23620333	24552622	25103191
Derivados del petróleo	7329107	6551004	6593476	6483270	6192349	6152653	6113785
Electricidad	8604421	9973943	10497137	11117747	11490777	12646460	13147197
Carbón, Coke, Alquitrán	3417017	3473904	2857560	3520997	2928387	2852663	2707815
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	1070667	1206356	1955740	2085861	2325689	2383223	2487452
Leña y biomasa	532724	618815	761737	611938	683130	517623	646942
Solar térmico	0	0	0	0	0	0	0
Total Comercial Público, Residencial	9733944	10311415	10742424	11337624	11388980	11462800	12391643
Derivados del petróleo	3373077	3682042	3702584	3583496	3417215	3222897	3542024
Electricidad	3923715	4118546	4369451	4880765	5096030	5375922	5930645
Carbón, Coke, Alquitrán	20344	24488	12432	2637	27125	2637	20848
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	588949	621737	774749	950237	918480	921573	943071
Leña y biomasa	1827859	1864601	1883208	1920489	1930130	1939770	1955055
Solar térmico	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	\$48.991.975	50759388	52825176	53876645	54180672	55567513	\$57.905.410

Fuente: Elaboración propia, basado en BNE, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile

Anexo 12. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 2005 - 2009

	2005	2006	2007	2008	2009
Total Transporte	22283299	22660818	24181206	25031257	23975409
Derivados del petróleo	22109841	22454501	23962091	24827402	23756767
Electricidad	102933	132492	166943	174238	172595
Carbón, Coke, Alquitrán	0	0	0	0	0
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	70525	73825	52172	29617	46048
Leña y biomasa	0	0	0	0	0
Solar térmico	0	0	0	0	0
Total Industrial y Minero	24965411	26901472	28955664	29036670	28179787
Derivados del petróleo	6207966	7413149	9584208	9945872	9226741
Electricidad	13250870	14023961	14778379	14971110	14954107
Carbón, Coke, Alquitrán	2671008	2674197	2685600	2588582	2351720
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	2079820	1910506	876799	434092	585609
Leña y biomasa	755748	879660	1030678	1097013	1061609
Solar térmico	0	0	0	0	0
Total Comercial Público, Residencial	12526483	12870307	13434075	13510196	13882647
Derivados del petróleo	3258774	3247060	3522330	3676488	3787609
Electricidad	6280395	6540654	6692190	6696226	6890298
Carbón, Coke, Alquitrán	15802	17007	17954	16524	10342
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	1011894	1096195	1222363	1131825	1195318
Leña y biomasa	1959618	1969390	1979237	1989134	1999079
Solar térmico	0	0	0	0	0
TOTAL	59775193	62432597	66570945	67578123	66037843

Fuente: Elaboración propia, basado en BNE, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile

Anexo 13. Toneladas de CO2 emitidas por combustible, utilizando Factores de Emisión, 2010 - 2013

	2010	2011	2012	2013
Total Transporte	23366654	24271023	24404551	26133620
Derivados del petróleo	23147600	24037042	24143707	25860392
Electricidad	178409	195150	193753	208801
Carbón, Coke, Alquitrán	0	0	0	0
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	40645	38831	67091	64428
Leña y biomasa	0	0	0	0
Solar térmico	0	0	0	0
Total Industrial y Minero	27639827	31156024	30980806	31834418
Derivados del petróleo	8996346	10733153	10108462	10806737
Electricidad	14696987	15733725	17281261	17483339
Carbón, Coke, Alquitrán	1962622	2462723	1026175	596644
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	1039934	1102762	1431302	1534643
Leña y biomasa	943937	1123662	1133606	1413056
Solar térmico	0	0	0	0
Total Comercial Público, Residencial	15037440	15418582	15934183	16659793
Derivados del petróleo	4315103	4363787	4411367	4129782
Electricidad	7509349	7725172	7952538	8899173
Carbón, Coke, Alquitrán	0	0	0	0
Gas (Corriente, coke, altos hornos, natural, biogas y metanol)	1203913	1199352	1218019	1253780
Leña y biomasa	2009075	2130271	2352258	2377057
Solar térmico	0	0	0	0
TOTAL	66043921	70845628	71319540	74627831

Fuente: Elaboración propia, basado en BNE, Ministerio de Energía y Medioambiente, Gobierno de Chile

17 APÉNDICES

A continuación se presentan los apéndices de la presente tesis, que apuntan principalmente a entregar mayor detalle a algunas secciones previas.

Apéndice 1. Áreas de Aplicación ID

18 ÁREAS DE APLICACIÓN

Existen cinco áreas principales de aplicación, las cuales son: "*demanda y oferta energética*", "*emisiones de gas relacionadas a energía*", "*flujos de material y desmaterialización*", "*monitoreo de las tendencias de la eficiencia energética nacional*" y "*comparaciones entre países*". Cada una presenta diferentes enfoques y ayuda en gran parte a la decisión sobre el método que es más conveniente utilizar.

18.1 DEMANDA Y OFERTA ENERGÉTICA

Los análisis de las cuentas de demanda para la industria energética han sido utilizados desde los años 80 alrededor del mundo, por lo que es un área que actualmente se encuentra desarrollada e incluye diversos sectores como el transporte, residencial e incluso en lo referente a la economía, problemas relacionados al sector de oferta energética, como lo es el impacto de la mezcla de combustibles en la generación eléctrica.

18.2 EMISIONES DE GAS RELACIONADAS A ENERGÍA

Junto con los efectos de estructura e intensidad se deben agregar factores relacionados al cambio en las cuotas de combustible por sector y de cambio de coeficiente de emisión de gases efecto invernadero. Los cambios en las cuotas de combustibles sectoriales entregan el impacto asociado con la mezcla de combustible, mientras que el cambio en los coeficientes de emisión de gas entregan el impacto asociado con la calidad medida del combustible por contenido de carbono por unidad de energía contenida.

18.3 FLUJOS DE MATERIAL Y DESMATERIALIZACIÓN

En estudios reportados se muestra que los materiales de interés se conforman por una amplia gama de metales y minerales no metálicos así como también el petróleo, carbón y gas natural, los cuales son tratados como materiales en lugar de fuentes energéticas. Estudios recientes han encontrado que el análisis de descomposición es un medio útil para analizar el desarrollo del uso de materiales en la economía.

18.4 MONITOREO DE LAS TENDENCIAS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA NACIONAL

Desarrollado por muchos países como Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y gran parte de los países europeos, los indicadores de eficiencia energética utilizados para ésta área permiten medir el progreso sobre la eficiencia energética de un determinado país. La metodología del análisis por descomposición de índices se ha utilizado para monitorear las tendencias de eficiencia energética a nivel nacional, revisando los cambios que existen en la intensidad energética utilizando los datos del consumo nacional de energía por todos los sectores de la demanda energética. Las mediciones pueden variar si se cambia el punto de referencia y el nivel de desagregación de los sectores adoptados.

18.5 COMPARACIONES ENTRE PAÍSES

Corresponde a la cuantificación de los factores que contribuyen a las diferencias en el consumo energético, emisiones de dióxido de carbono, o cualquier otro agregado entre dos países o dos regiones. La formulación y los datos son los mismos, excepto en que en este caso no se compara para un mismo país entre dos años distintos, sino que se compara para dos países en un mismo año.

Estas son las áreas más comunes que se suelen utilizar como estudios para evaluar el comportamiento tanto del consumo energético como de las emisiones de gases contaminantes producidos por tecnologías de generación. A continuación se presenta la definición de la metodología base para implementar la descomposición.

Apéndice 2. Test de Propiedades Deseables

Se presentan a continuación, los test de hipótesis planteados por los autores del método, que permiten identificar aquellos que poseen mejores características en cuanto a su formulación

18.5.1 TEST DE REVERSIÓN DE TIEMPO (TIME-REVERSAL TEST)

Este test requiere que el índice que se recorre hacia adelante sea recíproco con el que se recorre hacia atrás en los datos, en otras palabras, se debe cumplir que $D_{0,T} = \frac{1}{D_{T,0}}$, donde D se puede referir al precio o a un índice de cantidad en la teoría económica de índices. En particular para el caso energético se puede asumir que los resultados de la descomposición debiesen ser consistentes sin importar si esta es llevada a cabo de manera prospectiva o retrospectiva.

18.5.2 TEST DE REVERSIÓN DE FACTORES (FACTOR-REVERSAL TEST)

Este test requiere que una vez que se tienen todos los factores provenientes de la descomposición, al ser multiplicados entre sí, entreguen el siguiente ratio del agregado $V_T/V_0 \prod_{k=1}^n D_k$.

18.5.3 TEST CIRCULAR (CIRCULAR TEST)

Se puede expresar como $D_{0T} = D_{0S}D_{ST}$, donde S es un punto temporal entre 0 y T. Si este test es pasado, significaría que el factor D_{0T} no depende de cómo se desarrolla el indicador en un horizonte temporal determinado T (entre 0 y T).

Para el caso aditivo es análogo, las relaciones pueden derivarse de manera simple. Los test de *reversión de tiempo*, *de factores* y *el test circular* se pueden expresar de la siguiente forma (para el caso aditivo), $\Delta V_{0T} = -\Delta V_{T0}$, $\Delta V_{0T} = \Delta V_{0S} + \Delta V_{ST}$, y $\Delta V = \sum_i \Delta V_i$. De estos test, el más estricto es el circular, puesto que menciona que podría cumplirse sólo en el caso en que los pesos son constantes, sin embargo, como ningún índice numérico en la práctica cumple con este requisito, es válido entonces excluirlo como uno de los requisitos base para poder discernir entre las metodologías a aplicar. A continuación se presenta una tabla en la cual se muestran los enfoques

mencionados en este documento y como se comportan frente a las pruebas mencionadas.

Tabla 18. Propiedades de los métodos de Descomposición por índices³⁷

Método		Reversión de tiempo	Reversión de factores	Robusto a valores cero
Multiplicativo	<i>Laspeyres</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
	<i>AMDI</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
	<i>LMDI</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
	<i>Paasche</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
Aditivo	<i>Laspeyres</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
	<i>AMDI</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
	<i>LMDI</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
	<i>Paasche</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
	<i>Marshal-Edgeworth</i>	<i>No</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
	<i>Laspeyres</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>	<i>Si</i>
	<i>refinado</i>	<i>Sí</i>	<i>Sí</i>	<i>Sí</i>

Fuente: A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies, B.W Ang*, F.Q. Zhang

Con esto se puede ver que dentro de los métodos mencionados, los que cumplen con todos los test planteados son **el índice de Divisia en su forma logarítmica y el de Laspeyres refinado**.

Apéndice 3. Extensión LMDI Sector Industrial

Para poder aplicar el LMDI en el sector Industria y Minería, desagregando según el consumo de combustible, es necesario contar con los siguientes datos:

$$E: \text{Energía Total} \left(= \sum_i E_i \right)$$

$$E_i: \text{Energía usada en el sub sector } i \left(= \sum_j E_{ij} \right)$$

E_{ij} : Energía del tipo de combustible j usada en el sub sector i

$$E_i^*: \text{Uso efectivo de todos los combustibles en el sub sector } i \left(= \sum_j E_{ij}^* \right)$$

³⁷ "Si" significa que aprueba el test, "No" corresponde a lo contrario

E_{ij}^* : Uso efectivo del combustible j en el sub sector i

Γ_i : Ratio de calidad del combustible usado en el sub sector i $\left(= \frac{E_i}{E_i^*} \right)$

Y : Producción total (PIB)

Y_i : Producción del sub sector i (PIB _{i})

I : Energía: PIB ratio para toda la economía $\left(= \frac{E}{Y} \right)$

I_i : Intensidad de energía para el sub sector i $\left(= \frac{E_i}{Y_i} \right)$

I_{ij} : Intensidad de energía del combustible j en el sub sector i $\left(= \frac{E_{ij}}{Y_i} \right)$

I_i^* : Intensidad de energía efectiva del sub sector i $\left(= \frac{E_i^*}{Y_i} \right)$

s_{ij} : Participación del uso del combustible j en el sub sector i $\left(= \frac{E_{ij}}{E_i} \right)$

y_i : Participación de la producción del sub sector i $\left(= \frac{Y_i}{Y} \right)$

w_i : Participación de la energía del sub sector i $\left(= \frac{E_i}{E} \right)$

w_{ij} : Participación del combustible j en el sub sector i $\left(= \frac{E_{ij}}{E} \right)$

Aproximación de Divisia

$$\begin{aligned} E &= \sum_i E_i \\ &= \sum_i \left(\frac{E_i}{Y_i} \right) \left(\frac{Y_i}{Y} \right) Y \\ &= \sum_i \left(\frac{E_i}{E_i^*} \right) \left(\frac{E_i^*}{Y_i} \right) \left(\frac{Y_i}{Y} \right) Y \\ &= \sum_i \Gamma_i I_i^* y_i Y \end{aligned}$$

Apéndice 4. Extensión LMDI sector Transporte

Al igual que en el sector de Industria y Minería, para el sector transporte se desagrega de acuerdo a la siguiente base de datos:

Transporte de pasajeros

E : Energía total $\left(= \sum_i E_i \right)$

E_i : Energía usada en el sub sector i

Y : Producción total (km – pasajeros)

Y_i : Km – pasajeros en el sub sector i

I : Energía: Pass – km ratio para todos los transportes de pasajeros $\left(= \frac{E}{Y}\right)$

I_i : Intensidad de energía en el sub sector i $\left(= \frac{E_i}{Y}\right)$

y_i : Participación del transporte del sub sector i $\left(= \frac{Y_i}{Y}\right)$

w_i : Participación de energía en el sub sector i $\left(= \frac{E_i}{E}\right)$

Aproximación de Divisia

$$\begin{aligned} E &= \sum_i E_i \\ &= \sum_i \left(\frac{E_i}{Y_i}\right) \left(\frac{Y_i}{Y}\right) Y \\ &= \sum_i I_i y_i Y \end{aligned}$$

Para el transporte de carga se reemplazan los km - pasajero por km - toneladas.

Apéndice 5. Extensión LMDI sector Comercial, Público y Residencial

Por último para el sector CPR, se requiere de la siguiente información para poder hacer la descomposición y obtener los efectos respectivos:

E : Energía total

E_j : Consumo energético combustible j

E^* : Uso efectivo de todos los combustibles $\left(= \sum_j E_j^*\right)$

E_j^* : Uso efectivo del combustible j

P : Población total

H : Número de hogares

A : Superficie total edificada

Γ : Ratio de calidad del uso de combustible $\left(= \frac{E}{E^*}\right)$

Φ : Efecto de eficiencia o energía efectiva por unidad de área $\left(= \frac{E^*}{A}\right)$

Λ : Hogares por área promedio $\left(= \frac{A}{H}\right)$

Θ : Ocupación promedio de hogares $\left(= \frac{H}{P}\right)$

Aproximación de Divisia

$$\begin{aligned} E &= \left(\frac{E}{E^*}\right) \left(\frac{E^*}{A}\right) \left(\frac{A}{H}\right) \left(\frac{H}{P}\right) P \\ &= \Gamma_X \Phi_X \Lambda_X \Theta_X P \end{aligned}$$