
medio ambiente y desarrollo

Políticas fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile

Carlos de Miguel

Raúl O’Ryan

Mauricio Pereira

Bruno Carriquiry



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Santiago de Chile, diciembre de 2011

Este documento fue preparado por Carlos J. de Miguel y Mauricio Pereira, ambos de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, Raúl O’Ryan, de la Universidad de Chile y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, y Bruno Carriquiry de la Universidad de Chile en el marco de las actividades del proyecto “Improving management of resource allocation for environment in Latin America and the Caribbean”, financiado con cargo a la Cuenta para el Desarrollo de las Naciones Unidas y del proyecto “Understanding Potential Economic Impacts of Climate Change in Latin America and the Caribbean”.

Los autores agradecen los comentarios y sugerencias a una versión previa de este estudio, titulada “Energy shocks, fiscal policy and CO₂ emissions in Chile” de los participantes en la “XII Conferencia anual de análisis económico global”, realizada del 10 al 12 de Junio de 2009 en Santiago de Chile.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN versión impresa 1564-4189

LC/L.3434

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2011. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Sólo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

Resumen	5
I. Introducción	7
II. El contexto económico y ambiental en Chile	9
A. Contexto económico.....	9
B. Contexto energético.....	10
C. Contexto ambiental y de cambio climático.....	12
III. Aplicaciones de equilibrio general y el modelo ECOGEM Chile	17
A. Aplicaciones en energía, medio ambiente y cambio climático ...	17
B. Aplicaciones en Chile.....	18
C. El modelo ECOGEM-Chile.....	19
1. Características básicas	19
2. El módulo ambiental y cálculo de factores de emisión	21
3. Factores de emisión calculados para Chile.....	22
4. Validación de resultados	25
IV. Impactos socioeconómicos y ambientales de shocks energéticos	27
A. Descripción de los escenarios simulados.....	27
B. Impactos macroeconómicos	28
C. Impactos sectoriales.....	29
D. Impactos sociales.....	30
E. Impactos ambientales	31
1. Impactos sobre las emisiones de CO ₂	31
2. Otros impactos sobre las emisiones.....	32
V. Resultados de mediano plazo	35
A. Impactos macroeconómicos.....	35
B. Impactos productivos.....	36

C.	Impactos ambientales.....	37
VI.	Medidas de mitigación de emisiones CO₂: Impuestos y venta de certificados.....	39
A.	Impactos macroeconómicos	39
B.	Impactos sociales	41
C.	Impactos sectoriales	41
D.	Impactos ambientales	42
1.	Impactos sobre gases de efecto invernadero.....	42
2.	Co-beneficios ambientales.....	43
VII.	Conclusiones y recomendaciones de política	45
	Bibliografía	47
	Serie Medio ambiente y desarrollo: números publicados	51
	Índice de cuadros	
Cuadro 1	Ejes y objetivos de la estrategia nacional de cambio climático	13
Cuadro 2	Participación sectorial en las emisiones de GEI por consumo energético, 1990-2030	14
Cuadro 3	Principales actividades contaminantes.....	23
Cuadro 4	Factores de emisión de Chile por consumo de insumos.....	24
Cuadro 5	Factores de emisión de Chile por producción.....	24
Cuadro 6	Ajuste de emisiones en Chile.....	25
Cuadro 7	Participación en las emisiones totales de los principales sectores	26
Cuadro 8	Efectos macroeconómicos de <i>shocks</i> energéticos	28
Cuadro 9	Efectos sobre el valor bruto de la producción	29
Cuadro 10	Efectos sobre el valor bruto de la producción en los sectores energéticos y relacionados	30
Cuadro 11	Efectos distributivos de <i>shocks</i> energéticos.....	31
Cuadro 12	Variación en las emisiones de CO ₂ por <i>shocks</i> energéticos.....	32
Cuadro 13	Efectos ambientales totales.....	33
Cuadro 14	Efectos macroeconómicos de medidas de mitigación.....	40
Cuadro 15	Efectos fiscales de medidas de mitigación.....	40
Cuadro 16	Efectos en los ingresos por medidas de mitigación	41
Cuadro 17	Efectos sobre el valor bruto de la producción sectorial de las medidas de mitigación	42
Cuadro 18	Cambio en las emisiones de CO ₂ por mitigación.....	43
Cuadro 19	Emisiones sectoriales de CO ₂ y mitigación	43
Cuadro 20	Co-beneficios ambientales y mitigación	44
	Índice de gráficos	
Gráfico 1	Evolución del PIB y del consumo de energía primaria y secundaria	10
Gráfico 2	Consumo de energía primaria.....	11
Gráfico 3	Consumo de energía secundaria	11
Gráfico 4	Generación proyectada según tecnología.....	15
Gráfico 5	Efectos macroeconómicos ante distintos grados de sustitución	36
Gráfico 6	Efectos sobre el valor bruto de la producción sectorial ante distintos grados de sustitución.....	37
Gráfico 7	Efectos sobre las importaciones energéticas ante distintos grados de sustitución	37
Gráfico 8	Efectos ambientales ante distintos grados de sustitución entre energéticos.....	38
	Índice de diagramas	
Diagrama 1	Estructura de producción del modelo ECOGEM.....	20

Resumen

La alta dependencia externa de Chile en el uso del petróleo y sus derivados genera que los *shocks* energéticos internacionales se transmitan rápidamente a la economía nacional, en todas sus dimensiones, económica, social y ambiental. En este trabajo se examinan, utilizando la metodología de equilibrio general, los efectos directos e indirectos generados por un aumento en los precios de los hidrocarburos y por las mayores importaciones de gas natural licuado (GNL) como respuesta a la restricción a importar gas natural desde Argentina. Además, se estudia la aplicación de impuestos al CO₂ y venta de certificados para reducir las emisiones de este gas de efecto invernadero (GEI).

Este trabajo complementa los resultados presentados en el documento “Impactos económicos y sociales de *shocks* energéticos en Chile: un análisis de equilibrio general” (O’Ryan et al, 2008) al incorporar el análisis de la dimensión ambiental, con especial énfasis en la evolución de los GEI y en medidas de mitigación. Los impactos ambientales son cuantificados a través de coeficientes nacionales de emisión que relacionan la producción y el consumo de bienes con las emisiones totales.

Los resultados de equilibrio general muestran que los *shocks* energéticos generan un impacto levemente contractivo en el PIB a causa del aumento en el costo de los productos que gatilla un menor consumo de los hogares. Además, el impacto sobre el bienestar de la población es negativo y su distribución es regresiva. En términos productivos, el carbón ganaría participación en la matriz energética, aumentando de esta forma la intensidad carbónica de la economía.

El impacto en las emisiones del país dependerá del plazo de ajuste de la economía. En particular, las emisiones de CO₂ se reducirían en el corto plazo (un -1,7%) a causa de una contracción general de la actividad productiva. Sin embargo, cuando la economía tiene más tiempo para adaptarse, aumentarían las emisiones de CO₂ (en torno al 3%) debido a un mayor uso de carbón. Este tipo de resultados se observa además en la emisión de otros gases.

Finalmente, se evalúan los impactos de un impuesto sobre las emisiones de CO₂ en un escenario sin *shocks* energéticos, que permite reducir éstas en el mismo monto que se reducen con el *shock* energético (un 1,7%). Adicionalmente, se incorpora un escenario de venta de certificados de emisiones. Estas simulaciones muestran que es posible lograr reducciones con menores efectos macroeconómicos, sectoriales y sociales que los resultantes a causa del *shock* y que existen importantes co-beneficios ambientales adicionales.

I. Introducción

Chile presenta una alta dependencia externa en su abastecimiento de hidrocarburos; este hecho ocasiona una alta sensibilidad a las variaciones en los precios de los energéticos y en sus volúmenes importados, generando así, efectos que se transmiten a toda la economía. En este trabajo se analizan los impactos en Chile de un alza en el precio del petróleo y sus derivados. Además, se estudian los efectos de importar gas natural licuado (GNL) para compensar la restricción de importar gas natural desde Argentina.

Considerando los numerosos efectos cruzados, directos e indirectos y las posibilidades de sustitución existentes en la economía, el presente estudio permite cuantificar los impactos socioeconómicos y ambientales de los *shocks* en el sector energético. Asimismo, al generarse desincentivos vía precios al consumo de combustibles, se manifiestan otras alternativas que pueden reducir/aumentar los gases de efecto invernadero y la contribución al cambio climático por parte de Chile. Al incorporar el componente medio ambiental se complementan los resultados obtenidos en O’Ryan et al (2008) donde se cuantifican únicamente los efectos sociales y económicos generados por estos *shocks*.

Una vez analizados los impactos de los *shocks* energéticos, el documento explora la aplicación de instrumentos de política fiscal que permiten descarbonizar la economía y aprovechar el financiamiento disponible a partir de los mecanismos de flexibilidad establecidos en el Protocolo de Kyoto.

Para incluir y cuantificar la transmisión de efectos se utiliza el modelo de equilibrio general estático ECOGEM-Chile y una matriz de contabilidad social para Chile del año 2003. Lo anterior permite un análisis detallado del sector energético y sus interrelaciones con el resto de la economía y con el medio ambiente. Además, se utilizan coeficientes de emisión de distintos contaminantes estimados a partir de información del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de Chile (RETC).

El documento se organiza como sigue: En el segundo capítulo se analiza el contexto económico, energético y ambiental, y su relación con las emisiones de CO₂ en Chile. Además, se examina la evolución de las importaciones de insumos energéticos, el aumento significativo del consumo de gas natural desde el año 1996 y su posterior declive a causa de las restricciones a la importación desde Argentina. Por último, se estudian las tendencias históricas y proyectadas en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el tercer capítulo, se señalan diversas aplicaciones con modelos de equilibrio general computable (EGC) en Chile. En particular se detallan aquellos modelos que presentan aplicaciones energéticas y ambientales. Se analizan las modificaciones elaboradas al modelo de EGC utilizado en este estudio (ECOGEM-Chile) con el fin de incorporar relaciones energético-ambientales y se describen las principales elasticidades consideradas. El cuarto capítulo describe la construcción de factores de emisión para Chile a partir de los datos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de Chile (RETC).

En el quinto capítulo se analizan los impactos de corto plazo y, en algunos casos, de mediano plazo de las variaciones en el precio internacional del petróleo, de sus derivados y del gas natural. Los resultados consideran los efectos sobre las principales variables macroeconómicas como el PIB, los efectos sectoriales y el impacto sobre los diversos quintiles de ingreso. Asimismo, se analizan los impactos ambientales y, en particular, las emisiones de dióxido de carbono.

Finalmente, se analizan medidas de mitigación de emisiones de CO₂. En concreto, se estudia cuán oneroso sería para la economía chilena reducir las mismas emisiones de CO₂, resultantes de los *shocks* de precios de hidrocarburos, con la aplicación de un impuesto al carbono. Además, se explora el resultado de la venta de las reducciones logradas, a un precio de 20 dólares la tonelada de CO₂ y se detallan los co-beneficios ambientales de esa medida. Por último, en el séptimo capítulo se presentan las conclusiones del trabajo y se entregan recomendaciones de trabajo a futuro.

II. El contexto económico y ambiental en Chile

En este capítulo se describe la evolución histórica de las principales variables económicas en Chile y se relaciona el crecimiento económico con las demandas históricas y futuras de energía. En particular, se analiza la evolución de los principales componentes de la matriz de energía y se muestra la sustitución existente en los últimos años entre carbón y gas natural.

La evolución del consumo energético se relaciona directamente con las emisiones de CO₂. Si se proyecta el escenario energético actual se apreciaría una carbonización de la matriz energética generando una mayor intensidad carbónica en la economía. Por ello, en el país se han diseñado y aplicado diversas alternativas para mitigar emisiones aunque aún no existen obligaciones internacionales.

A. Contexto económico

La economía chilena, en el período 1996-2008, presentó un crecimiento positivo y estable, a excepción del año 1999, de hecho el PIB creció en promedio a una tasa del 3,9% anual. Este crecimiento se ha basado fundamentalmente en exportaciones cada vez más diversificadas (OCDE/CEPAL, 2005).

El fuerte incremento del precio internacional del cobre ha permitido generar un incremento notorio en los ingresos fiscales y en las reservas del sector público. En el período 1996-2008, el precio acumuló un crecimiento mayor al 200% y entre los años 2005 y 2008 de más del 89%, generando el 2008 un superávit fiscal de 9.000 millones de dólares lo que equivale a un 5,2% del PIB.

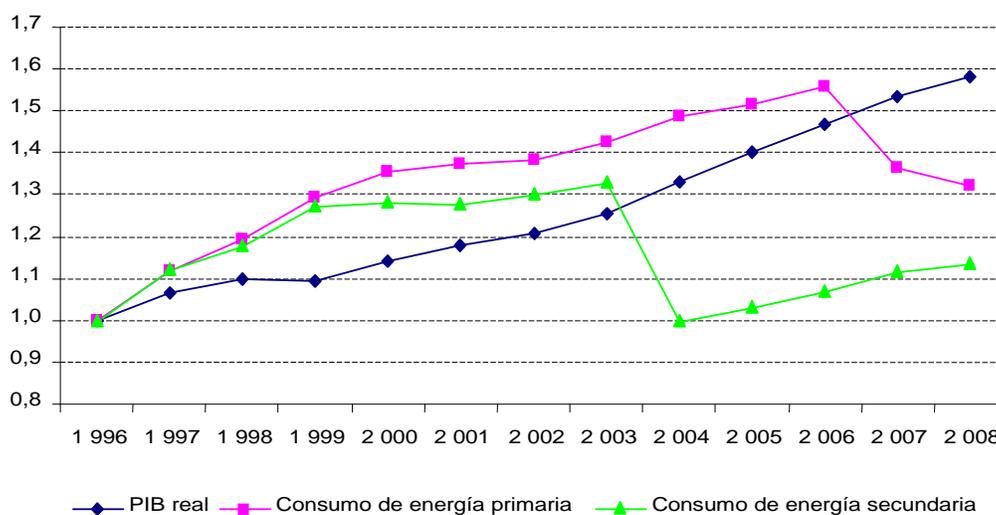
Desde el año 2000, la política fiscal en Chile comenzó a ser guiada en base al indicador de Balance Estructural del Gobierno Central, con un objetivo de superávit de un 1% del PIB (el que baja a 0,5% a partir del 2008). Esta política, junto con los precios altos del cobre, ha generado reservas fiscales que permite financiar políticas contracíclicas.

A finales del año 2008 se presentan en el país los efectos de la crisis financiera internacional que generó una contracción del PIB del -1,5% en el año 2009, aunque en el 2010 el crecimiento superó el 5%. El menor impacto de la crisis y la rápida recuperación de Chile se debió principalmente a la aplicación de políticas contracíclicas, el aumento de la demanda interna y la continuidad del impulso exportador.

B. Contexto energético

El crecimiento económico de la última década se ha traducido en una fuerte expansión de la demanda por energía. Tanto el consumo de energía primaria, utilizada en centros de transformación, como secundaria, utilizada por los hogares y sectores productivos, han crecido a tasas cercanas a la del PIB. A partir del año 2004 se ha producido una fuerte contracción en el consumo energético, a causa de restricciones en la importación de gas natural desde Argentina, incluso ante un permanente aumento del PIB (gráfico 1). Ayudando a reducir el consumo de energía por unidad de PIB.

GRÁFICO 1
EVOLUCIÓN DEL PIB Y DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA Y SECUNDARIA
(Índice 1996=1)

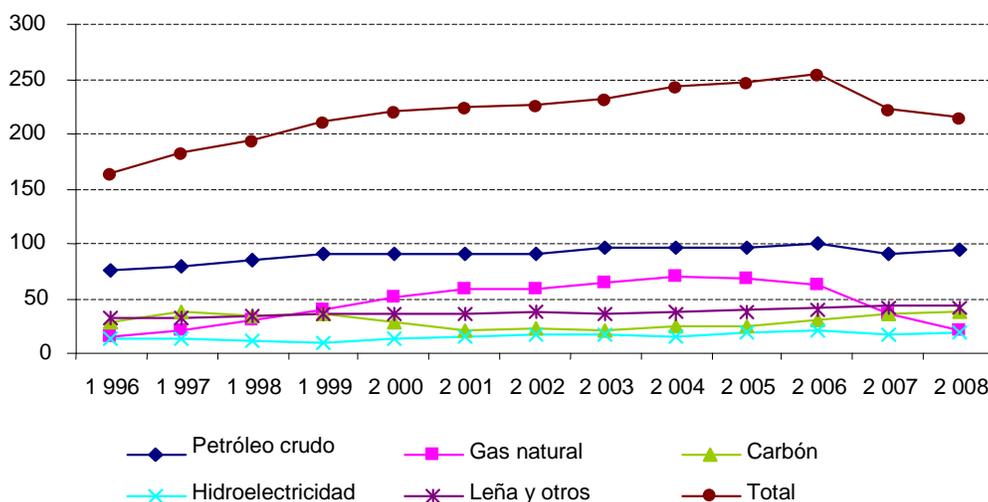


Fuente: Elaboración propia sobre la base de CEPAL y CNE.

El consumo de energía primaria se enfoca en cinco fuentes energéticas: petróleo crudo, gas natural, carbón, hidroelectricidad y leña, entre otros. Destacando el consumo de petróleo crudo que representa más del 40% del total consumido. Además, tanto el consumo de energía hidroeléctrica como de leña se han mantenido estables en el período 1996-2008, con tasas de crecimiento para ambos energéticos del 3% y representando cerca del 25% del consumo de energía primaria.

Por otro lado, el consumo de gas natural, en solo ocho años (1996-2004), aumenta su participación de un 10% a un 30% de la matriz, generando fuertes sustituciones con carbón, y de esta forma, descarbonizando la matriz energética. Sin embargo, a partir del año 2005 se siente con mayor fuerza la restricción sobre las importaciones de gas natural desde Argentina, originando que en menos de tres años su consumo vuelva a los niveles de 1996 (gráfico 2).

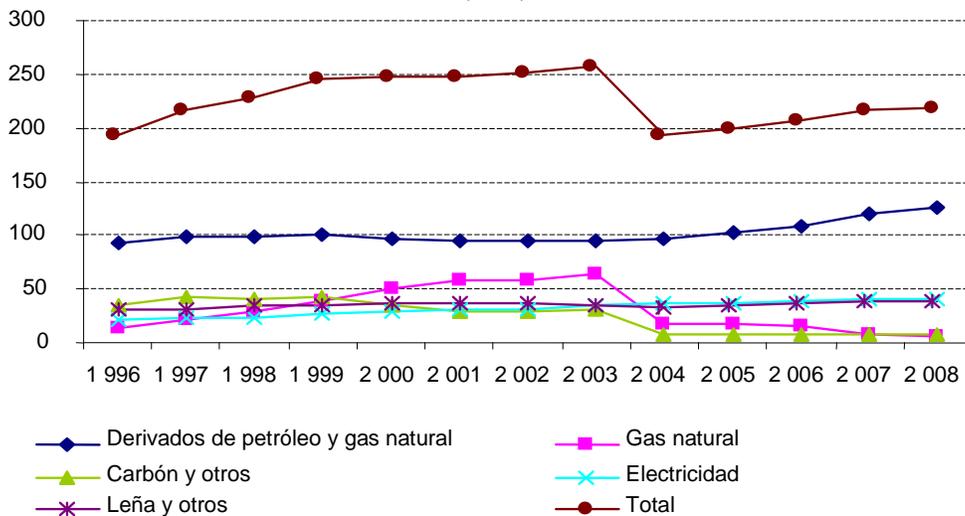
GRÁFICO 2
CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA
(MWh)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de CNE.

El consumo de energía secundaria se ha basado en derivados del petróleo que, el año 2008, representa el 57% del consumo final. La participación de este energético se ha incrementado fuertemente debido a la menor disponibilidad de gas natural que decrece a partir del año 2004 y llega actualmente a niveles mínimos. En este caso, el menor consumo de gas natural no es compensado por carbón como ocurre en los centros de transformación sino que impulsa un mayor consumo de derivados de petróleo.

GRÁFICO 3
CONSUMO DE ENERGÍA SECUNDARIA
(MWh)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de CNE.

La dependencia por insumos energéticos importados que presenta la economía chilena genera una alta vulnerabilidad ante los vaivenes de precios y a los cambios en la oferta externa. La dependencia energética se ejemplifica en que el año 2005, el país importaba el 98% de las necesidades de petróleo, un 75% del gas natural (cifra que el 2008 cae al 29%) y un 92% de consumo de carbón (aumentando a un 99% el 2008) (CNE 2009a y CNE 2010).

La dependencia externa se incrementa aún más en el caso del gas natural, ya que el 100% de las importaciones de este energético provenían de Argentina. Sin embargo, desde el año 2004 estas importaciones se han interrumpido en forma continua y creciente debido a problemas de abastecimiento interno en Argentina. En el año 2005, estas restricciones alcanzaron en momentos un 50% respecto a los requerimientos normales, en el 2006 estas interrupciones alcanzaron el 60%, y en los años 2007 al 2009 se han alcanzado cortes de hasta el 100% de las importaciones comprometidas (CNE, 2009b). De hecho, entre los años 2005 y 2008 se ha registrado una contracción acumulada del gas natural usado para fines primarios de un 68%. Estas restricciones han afectado en mayor magnitud al sector industrial y a la generación de energía (CNE, 2009a y CNE, 2010).

Para diversificar las fuentes de abastecimiento de gas natural, en el año 2004 se anuncia el proyecto de Gas Natural Licuado (GNL) que incluye la construcción de dos plantas de regasificación, en Quintero y Mejillones. Estas plantas permiten distribuir el GNL importado a través de transporte marítimo. La planta de Quintero comenzó su operación a mediados del 2009 y la planta de Mejillones operativa durante el 2010. La evolución del precio internacional del GNL sigue la evolución de precios del gas natural en USA (Henry-Hub), que entre los años 2003 y 2008 ha aumentado en un 60%, y entre el 2005 y el 2008 ha promediado los 7,8 US\$/MMBtu. Estos precios son muy superiores a los precios del gas importado desde Argentina, los que promediaron en el mismo período los 4,9 US\$/MMBtu (CNE, 2009c).

A su vez, Chile importa anualmente casi el 100% del petróleo consumido. Por ello, las alzas de precios tienen un fuerte impacto en los precios internos de la economía, incrementando los costos en la mayoría de los sectores productivos y afectando, en particular, actividades sensibles para la población como el transporte y la energía, entre otros. En este contexto, una variación en el precio internacional se transmitirá rápidamente a la economía nacional.

El precio del petróleo ha experimentado un sostenido aumento desde el 2003. El precio promedio anual del Petróleo Brent¹, entre el 2003 y 2008, se incrementó en un 235%, llegando a los 97 US\$ promedio en el 2008. Por otro lado entre los años 2003 y 2004, período coincidente con las primeras restricciones de gas natural, se incrementó en un 32%. Por otro lado, el precio de paridad de la gasolina automotriz se ha incrementado en un 173% en el período 2003-2008 y entre los años 2003 y 2004 aumentó en un 28%.

Las proyecciones internacionales de altos precios del petróleo y la inestabilidad en la provisión energética desde Argentina, hacen necesario estimar los potenciales impactos que un alza en el precio del petróleo y las restricciones en la importación de gas natural podrían producir a nivel social, económico y ambiental en Chile.

C. Contexto ambiental y de cambio climático

Chile es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y del Protocolo de Kyoto. No obstante, en su calidad de país en vías de desarrollo no posee compromisos de reducción de emisiones aunque si se han desarrollado iniciativas voluntarias asociadas a proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), uno de los principales instrumentos del protocolo de Kyoto.

¹ En dólares nominales por barril.

Si bien las emisiones de CO₂ en Chile son bajas en relación a las emisiones globales. Chile cumple con las condiciones de vulnerabilidad señaladas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático ya que posee zonas costeras bajas; zonas áridas y semiáridas; áreas susceptibles a la deforestación, a la erosión, a los desastres naturales, a la sequía y la desertificación; áreas urbanas altamente contaminadas, y ecosistemas frágiles (CONAMA, 2006). Es por ello que se estableció un plan de acción que incorpora aspectos de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático.

En 1996 se estableció en Chile el Comité Nacional de Asesoría para el Cambio Global, encargado de preparar la primera comunicación nacional sobre el Cambio Climático. Esta comunicación contenía un inventario nacional de las emisiones de gases de efecto invernadero y en ella se identificaban las opciones de mitigación, así como la vulnerabilidad y las medidas de adaptación (OCDE-CEPAL, 2005).

Finalmente, el Gobierno de Chile a través de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) desarrolló, en el año 2006, su Estrategia Nacional de Cambio Climático. En ella se plantea tratar la temática en tres ejes relacionados con: la adaptación a los impactos del cambio climático, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la creación y fomento de capacidades para abordar esta temática en Chile. En el siguiente cuadro se señalan estos ejes y sus objetivos relacionados:

CUADRO 1
EJES Y OBJETIVOS DE LA ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

Ejes	Objetivos
Adaptación a los Impactos del Cambio Climático	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluación de los impactos ambientales y socio-económicos del cambio climático en Chile. 2. Definición de medidas de adaptación 3. Ejecución y seguimiento de las medidas de adaptación
Mitigación de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	<ol style="list-style-type: none"> 4. Análisis de las opciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Chile. 5. Definición de medidas de mitigación. 6. Ejecución y seguimiento de las medidas de mitigación.
Creación y Fomento de Capacidades en Cambio Climático	<ol style="list-style-type: none"> 7. Difundir el cambio climático y crear conciencia en la ciudadanía. 8. Fomentar la educación e investigación en cambio climático. 9. Mejorar la observación sistémica del clima. 10. Generar información de calidad y accesible para la toma de decisiones. 11. Desarrollar capacidades institucionales para la mitigación y adaptación. 12. Desarrollar y transferir tecnologías para la mitigación y adaptación. 13. Revisar y actualizar periódicamente el inventario de gases de efecto invernadero. 14. Participar activamente en la agenda de cambio climático. 15. Reforzar la cooperación internacional en cambio climático 16. Establecer sinergias con la implementación de otras convenciones de carácter global.

Fuente: Estrategia Nacional de Cambio Climático, CONAMA 2006.

En el año 2008, la Comisión Nacional del Medio Ambiente presentó su “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático: 2008-2012”. Este plan, es una herramienta orientadora para los distintos sectores productivos, la academia y los organismos no gubernamentales, al indicar las materias que el Estado considera relevantes de ser asumidas por la sociedad para enfrentar los impactos del cambio climático.

Chile presenta importantes aumentos en sus emisiones históricas y proyectadas de GEI. En los últimos 16 años (1990-2006) las emisiones de GEI han aumentado 1,7 veces. Este efecto está ligado al aumento en el PIB de Chile que se incrementó 2,4 veces y al consumo total de energía que lo hizo 2,3

veces. Dos estudios recientes han estimado las emisiones futuras de GEI hasta el año 2030. De acuerdo a CEPAL (2009) las emisiones proyectadas energéticas y no energéticas en el año 2030 serán 2,4 veces mayores a las del año 2007. PROGEA (2008) estima que las emisiones (solo del sector energético) serán 4,2 veces mayores para igual período de tiempo. Estos escenarios asumen ausencia de medidas de mitigación específicas para estas emisiones y en ambas proyecciones se profundiza la tendencia creciente de las emisiones históricas.

Dos indicadores a considerar se relacionan con las emisiones per cápita y por Producto Interno Bruto del país. El indicador de emisiones per cápita (medido en toneladas de CO₂/habitante) ha aumentado de 2,7 a 3,7 entre los años 1990 y el 2006. Además, se espera que este indicador aumente tres veces su magnitud el año 2030 alcanzando valores entre 12 (CEPAL, 2009) y 14 toneladas de CO₂/habitante (PROGEA, 2008). El indicador de emisiones por unidad de PIB² presentó, en el período 1990-2006, una disminución en la intensidad de emisiones ya que este indicador se redujo desde 0,9 a 0,6 KgCO₂/US\$. Sin embargo, se estima que esta intensidad vuelva a incrementarse el año 2030 entre 0,9 y 1,0 KgCO₂/US\$ de acuerdo a CEPAL (2009) y PROGEA (2008), respectivamente.

En ambos estudios se aprecia que los sectores que más aumentan sus emisiones el año 2030 son los de generación eléctrica y de transporte. Estos incrementos en las emisiones responden a un crecimiento en la demanda de energía de los sectores productivos, a mayores demandas de confort y mayores tasas de motorización lo que estaría correlacionado con aumentos del ingreso per cápita de Chile. Según PROGEA (2008), las emisiones de centros de transformación eléctrica aumentarán 5,5 veces y las del sector transporte 5,8 veces el 2030 en relación con el 2007. El sector eléctrico seguirá siendo en el futuro cercano el segundo emisor de GEI de Chile. El 2030 llega a representar el 38% de las emisiones de GEI. En el cuadro 2 se aprecia la evolución del aporte porcentual de cada sector en las emisiones de GEI.

CUADRO 2
PARTICIPACIÓN SECTORIAL EN LAS EMISIONES DE GEI
POR CONSUMO ENERGÉTICO, 1990-2030
(Porcentajes)

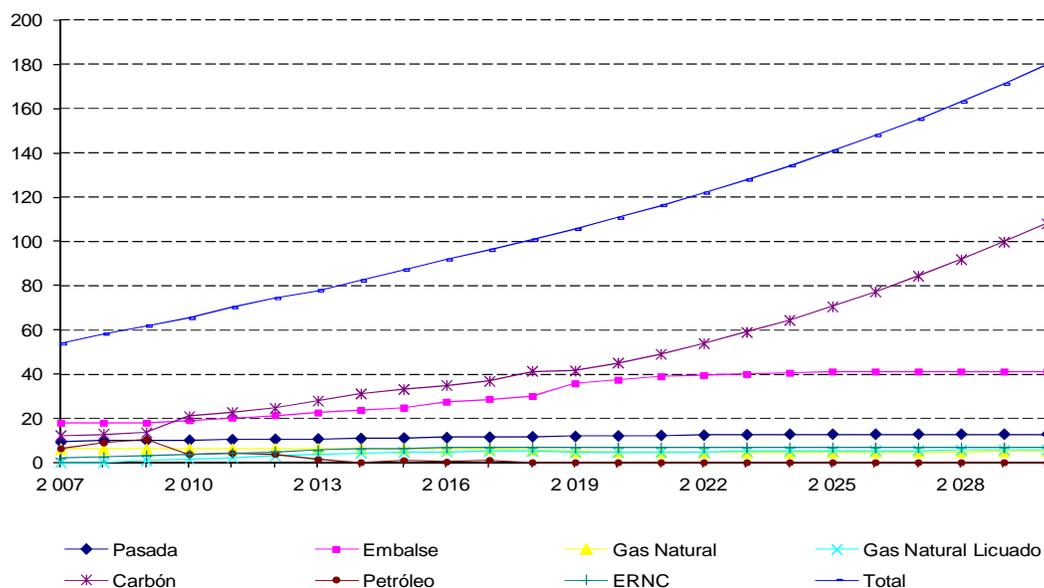
	1990	2000	2010	2020	2030
Comercial, Residencial y Público	10	8	6	5	4
Industrial y minero	26	24	20	17	13
Transporte	30	34	38	44	45
Sector Energía y Centros de Transformación	34	33	35	35	38
Total	100	100	100	100	100

Fuente: Elaborado en base a PRIEN (2000), citado en PROGEA (2008) para el año 1990, y en base a PROGEA (2008) desde el año 2000 en adelante.

Para el año 2007 los principales componentes relacionados con la generación eléctrica se asocian a las centrales hidráulicas de embalse y a la generación por carbón. De acuerdo a diversas proyecciones se espera que la importancia relativa de generación a través de embalses caiga como consecuencia del aumento en la importancia relativa de la generación a través de carbón (gráfico 4).

² Medido en dólares constantes del año 2000.

GRÁFICO 4
GENERACIÓN PROYECTADA SEGÚN TECNOLOGÍA
 (Miles de GWh)



Fuente: PROGEA 2008.

En el contexto internacional de precios altos de los hidrocarburos y de acuerdo a la evolución esperada de la composición de una matriz energética cada vez más intensiva en carbón. Se espera que exista cada vez mayor sustitución de petróleo por carbón por lo que aumentarían las emisiones de CO₂. Es por este motivo que resulta de gran importancia la implementación de diversas medidas de mitigación de las emisiones de carbono.

Finalmente, en el año 2011 el gobierno de Chile presenta su “La Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. Esta comunicación presenta diversos lineamientos de políticas públicas. Se ha dado seguimiento a las conclusiones obtenidas en la primera comunicación nacional y se ha profundizado el diagnóstico sobre vulnerabilidades y mecanismos de adaptación al cambio climático. Por otro lado, se han profundizado en las implicaciones de realizar medidas de mitigación. Cabe destacar que el gobierno de Chile decidió colaborar en forma voluntaria en las iniciativas para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero, de hecho durante el acuerdo de Copenhague (2010), se comprometió en disminuir en un 20 por ciento sus emisiones proyectadas al 2020, sujeto a la disponibilidad de financiamiento internacional.

III. Aplicaciones de equilibrio general y el modelo ECOGEM Chile

En este capítulo se describen diversas aplicaciones energéticas y ambientales desarrolladas con modelos de equilibrio general. En primer lugar, se señalan aplicaciones internacionales donde es usual encontrar emisiones calculadas a través de factores de emisión. En segundo lugar, se detallan aplicaciones de equilibrio general en Chile, destacándose diversas aplicaciones en temas comerciales, energéticos y ambientales. Finalmente, se describen las principales características del modelo ECOGEM Chile y se detalla su módulo ambiental así como la metodología de cálculo de factores de emisión para Chile.

A. Aplicaciones en energía, medio ambiente y cambio climático

Las aplicaciones de equilibrio general en temáticas energéticas y ambientales han aumentado fuertemente en los últimos años. La problemática ambiental ha sido analizada en versiones estáticas y dinámicas, con aplicaciones a nivel de un solo país, varios países y globales. Se han analizado las externalidades ambientales, la aplicación impuestos ambientales, políticas de doble dividendo, análisis del protocolo de Kyoto; así como la evaluación del cambio climático y distintas medidas de adaptación y mitigación de emisiones de CO₂.

Los modelos que permiten desarrollar análisis ambientales, y en particular de cambio climático, presentan una mayor desagregación y formas funcionales más detalladas en la modelación de los sectores energéticos (Pigott et al. 1992, Goulder 1993, Rose et al. 1995, Rutherford et al. (1997), Vennemo (1997), Galinis et al. (2000), entre otros).

El mayor detalle en los sectores energéticos permite incluir diversos grados de sustitución entre los distintos tipos de energías. En los modelos de EGC convencionales (sin especialización energético-ambiental) los insumos intermedios, incluyendo la energía, entran en la esfera de la producción como un bien intermedio agregado cuya sustitución es imperfecta (cuando no imposible).

Por ello se han desarrollado modelos especializados en el análisis de temas energéticos que resuelven este problema al modelar en detalle los sectores energéticos en la función de producción, permitiendo diversos grados de sustitución entre ellos y con otros factores productivos. Dentro de los modelos más utilizados destacan:

1. El Modelo GREEN, desarrollado por Burniaux *et al.* (1991), se caracteriza por ser un modelo dinámico recursivo, multiregional y multisectorial. Incluye dentro de los factores productivos, además de los factores tradicionales capital, trabajo y tierra; el carbón, el petróleo y el gas natural. Permite imponer rigideces en el mercado del factor capital al distinguir dos tipos capital (viejo y nuevo) e incluir costos de ajuste. En este modelo se enfatiza la descripción de los sectores energéticos, la oferta de combustibles y relaciona los conceptos de agotamiento de los combustibles fósiles, su producción y precio, el consumo de energía y las emisiones de CO₂. A partir de este modelo se han desarrollado numerosas aplicaciones y nuevos desarrollos (destacando el modelo MIT-EPPA -Yang *et al.* (1996), Babiker *et al.* (2001), Paltsev *et al.* (2005), McFarland *et al.* (2004)).
2. El Modelo GEM-E3, desarrollado por Capros *et al.* (1995), es del tipo dinámico recursivo y describe en forma conjunta la economía, el uso de energía y los efectos medio ambientales para los países de la Unión Europea. Presenta 18 sectores productivos de los cuales 4 son energéticos y une el consumo de bienes con las emisiones de CO₂, las que son influenciadas por los precios de los productos energéticos (principalmente combustibles fósiles).
3. El Modelo GTAP-E, que es una adaptación del modelo GTAP, realizado por Burniaux *et al.* (2002). El modelo GTAP es un modelo de equilibrio general estático, multisectorial y multiregional, donde se analiza con especial detalle los flujos internacionales de comercio. En el modelo GTAP-E se incorporan diversos módulos, donde en uno de ellos se describen las relaciones entre insumos energéticos y el capital. También incorpora un módulo donde se analizan las emisiones de carbono causadas por la combustión de combustibles fósiles, así como los mecanismos de comercio internacional asociados a estas emisiones.
4. De igual forma los modelos PACE (Böhringer *et al.* (2004) y AIM (Matuoka *et al.* (1995)) profundizan en el detalle de los sectores energéticos, incluyendo respectivamente los biocombustibles y las energías nucleares y renovables, para enfrentar los temas del calentamiento global.
5. El Modelo TEQUILA (Trade and Environment Equilibrium Analysis Model), desarrollado por Beghin *et al.* (1996) analiza en forma especial a los sectores energéticos, además incorpora coeficientes de emisión para una amplia gama de contaminantes y permite desarrollar políticas de eficiencia tecnológica. Este modelo fue desarrollado por la OECD, al igual que el GREEN, y fue adaptado para seis países: México, Costa Rica, Chile, China, Indonesia y Vietnam. El modelo ECOGEM-Chile se fundamenta en él.

B. Aplicaciones en Chile

En el caso de Chile, la mayor parte de las aplicaciones corresponden a temas comerciales: (i) Harrison, Rutherford y Tarr (1997, 2003), que utilizando un modelo de EGC global, simularon la suscripción de un TLC con los miembros del NAFTA y la profundización de la Unión Aduanera con el MERCOSUR, al mismo tiempo que se aplican reducciones unilaterales de aranceles de entre 6 y 8%; (ii) Beghin *et al.* (1996, 2002) utilizan el modelo TEQUILA en su versión dinámica para analizar los efectos sobre Chile

de entrar en el NAFTA y en el MERCOSUR, evaluando los nexos entre crecimiento, comercio, medio ambiente y salud; (iii) el trabajo de Bussolo, Mizala y Romaguera (1998) utiliza el modelo anterior para analizar los acuerdos comerciales centrándose en el mercado laboral; (iv) utilizando el modelo GTAP, Hilaire y Yang (2003), simularon los efectos del TLC entre Chile y Estados Unidos; (v) Holland et al. (2002) evaluó los efectos de la eliminación de las bandas de precio en la agricultura, especialmente del trigo, el azúcar y el aceite; (vi) Schuschny, Durán y de Miguel (2007b), reconcilian las preferencias arancelarias del año base utilizado por GTAP en función de la agenda de liberalización regional, analizan los impactos de los acuerdos comerciales suscritos por países de América Latina entre el año 2001 y el 2004, entre los que se incluyen numerosos tratados firmados por Chile; (vii) O’Ryan, de Miguel, Miller y Pereira (2011) evalúan distintos escenarios comerciales para Chile: reducción arancelaria unilateral, acuerdos de libre comercio de Chile con los EEUU y la Unión Europea y el efecto combinado de estos acuerdos con un aumento del IVA o de la inversión extranjera directa. Se utiliza la versión dinámica del modelo ECOGEM-Chile; (viii) Cabezas (2003) hace una revisión de los principales resultados de modelos aplicados a la cuantificación del TLC entre Chile y los Estados Unidos. Entre otros revisa los trabajos de Coeymans y Larraín (1992), Brown, Deardoff y Stern (1992), Harrison, Rutherford y Tarr (1997, 2003), Hinojosa-Ojeda et al. (1997), y un estudio preparado por el Consorcio Planinstat (2002), que evaluó los impactos de sustentabilidad ambiental de la suscripción del Acuerdo de Asociación entre Chile y la Unión Europea (“Sustainable Impact Assessment”), que utiliza el modelo GTAP. Finalmente, (ix) Schuschny et al (2008) analizan la política comercial de Chile con Japón y China, evaluando los impactos económicos, sobre bienestar y estructurales en Chile. El documento incluye los cambios en los patrones exportadores en función de las industrias ambientalmente sensibles.

Las aplicaciones ambientales en Chile son pocas. Sin embargo, es posible encontrar estudios como el de Dessus et al. (1999) que cuantifica los efectos socioeconómicos de implementar distintos impuestos a las emisiones de CO₂. Además, O’Ryan, de Miguel y Miller (2003), con el modelo ECOGEM-Chile que es una adaptación del modelo anterior, analizan los impactos de aplicar distintos instrumentos fiscales para reducir las emisiones de contaminantes y en O’Ryan, de Miguel, Miller y Munasinghe (2005) se evalúan las interrelaciones entre políticas ambientales y sociales. Finalmente, O’Ryan, de Miguel, Pereira y Lagos (2008) analizan los impactos económicos y sociales de *shocks* energéticos en Chile. Este artículo sirve como base para el presente documento.

C. El modelo ECOGEM-Chile³

La versión estática del modelo ECOGEM-Chile se caracteriza por su multisectorialidad, la separación de los hogares según quintiles de ingreso, la desagregación de exportaciones e importaciones de acuerdo a distintos socios comerciales, etc. Este modelo se fundamenta básicamente en la teoría neoclásica, donde el ahorro determina la inversión y se asume que existe equilibrio competitivo en todos los mercados.

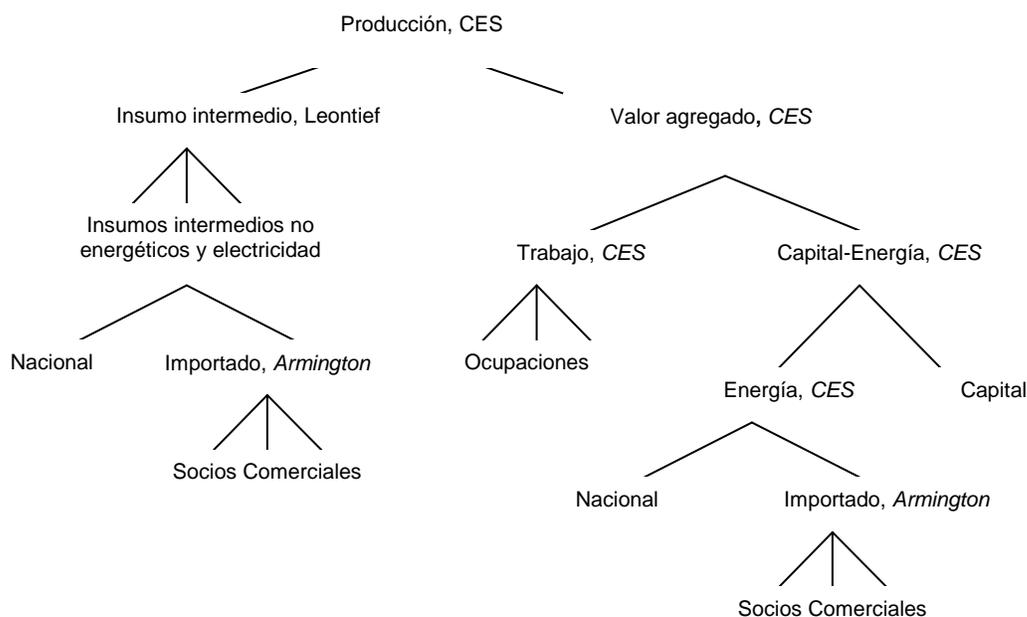
1. Características básicas

El modelo utilizado en este estudio es calibrado con una SAM para Chile del año 2003 que permite identificar 73 sectores económicos. Además, por medio de información secundaria se separa el sector de “Extracción de petróleo y gas natural”, lo que permite diferenciar tanto la producción e importaciones de cada energético, así como su consumo⁴. En la modelación, se asume que todos los sectores presentan retornos constantes a escala y la tecnología está dada por una función de producción CES (elasticidad de sustitución constante). En el diagrama 1 se presenta una representación anidada de esta función de producción:

³ El modelo se fundamenta en el desarrollado en la OECD, por Beghin, Dessus, Roland-Holst y van der Mensbrugge (1996).

⁴ Para un mayor detalle de las características de la SAM véase O’Ryan et al 2008.

DIAGRAMA 1
ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN DEL MODELO ECOGEM



Fuente: O’Ryan et al. (2003).

La estructura productiva, presentada en el gráfico anterior, relaciona la producción de un bien con sus insumos productivos, los que pueden ser: insumos intermedios no energéticos, insumos energéticos, capital y trabajo. Los insumos no energéticos se relacionan entre sí por medio de proporciones fijas. Mientras que los insumos energéticos, el capital y el trabajo se relacionan por medio de funciones anidadas CES que permiten cierta sustitución.

Los sectores energéticos identificados en esta modelación son: electricidad, petróleo, combustibles, gas natural y carbón. El sector eléctrico presenta características particulares, distintas a los otros sectores energéticos, por ello se ha agrupado junto a los otros insumos intermedios con el fin de limitar su posibilidad de sustitución con otros energéticos. Esto reconoce el hecho de que la electricidad y el resto de energéticos utilizados en procesos productivos no son claramente sustituibles entre sí. Además, dentro de los insumos energéticos usados para producir electricidad, la hidroelectricidad presenta una limitada capacidad de expansión en el corto plazo, por lo que no puede responder inmediatamente a restricciones de otras alternativas de generación. Para los otros insumos energéticos se permite cierto grado de sustitución entre sí y con el resto de los factores productivos. Para distinguir entre corto y largo plazo, se ha supuesto que el grado de sustitución entre insumos energéticos en el corto plazo es nulo, mientras que este supuesto se ha flexibilizado en el largo plazo.

Además, la estructura de producción permite distinguir entre el uso de productos nacionales e importados. A través del supuesto de Armington se considera sustitución imperfecta entre productos nacionales e importados. En el caso del petróleo y del gas natural se ha determinado rebajar en un tercio el grado de sustitución, reflejando con ello la dificultad de lograr una mayor producción doméstica ante una caída en las importaciones energéticas.

2. El módulo ambiental y cálculo de factores de emisión⁵

En este apartado se detallan las principales características del módulo ambiental del modelo ECOGEM Chile. Se analiza la estructura y formas funcionales utilizadas en el cálculo de las emisiones de cada industria, se señala el rol de los factores de emisión y se explica su metodología de estimación para Chile. Para esto, se revisa en detalle la metodología seguida por Dessus et. al. (1994) donde se calculan factores de emisión para Estados Unidos. Luego, se aplica una adaptación de esta metodología a datos de Chile y se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, se comparan las emisiones obtenidas al aplicar los coeficientes al consumo y a la producción de la economía y se validan estos resultados con los datos reales.

a) El módulo ambiental en el modelo ECOGEM

El modelo ECOGEM-Chile calcula las emisiones resultantes en la economía chilena a partir del enfoque de utilización de insumos. Con este enfoque, las emisiones se pueden explicar principalmente por el consumo de un número reducido de insumos. El modelo ECOGEM incorpora información del consumo de bienes intermedios por parte de las firmas de bienes finales por parte de los hogares y otras demandas finales. Con esta información junto a los factores de emisión por consumo se obtiene la mayor parte de las emisiones totales.

El modelo incluye también factores de emisión por producción, los que junto a la información sobre la producción de cada actividad, se utilizan para explicar la contaminación que es inherente al proceso productivo de cada actividad industrial y que no depende de los insumos. En la siguiente ecuación se presenta el cálculo de emisiones en el modelo ECOGEM

$$E^p = \sum_j v^p_j XP_j + \sum_i \pi^p_i \left(\sum_j XAp_{ij} + \sum_h XAh_{ih} + \sum_f XAfd_{if} \right)$$

Donde:

E^p es la cantidad de emisiones de contaminante p, medidas en unidades físicas, que se liberan al ambiente en un año.

XP_j es la cantidad producida por la industria j.

XAp_{ij} es la cantidad del bien i que se consume cómo insumo en la industria j.

XAh_{ih} es la cantidad del bien i consumido por los hogares tipo h.

$XAfd_{if}$ es la cantidad del bien i consumido por la demanda final f.

v^p_j y π^p_i son los factores de producción por producción y por consumo respectivamente.

El primer término de la ecuación captura las emisiones que se generan en el proceso productivo y que no pueden explicarse por la utilización de insumos. En este caso se asume que ni el capital ni el trabajo producen emisiones.

El segundo término incorpora la mayor parte de las emisiones y son asociadas al consumo de bienes por parte de los agentes considerados en el modelo. En este caso, las emisiones generadas difieren según qué es lo que se consume, pero no según quién lo consume⁶.

⁵ Esta sección se basa en Carriquiry, 2008.

⁶ Debido a las características del modelo, no se incorporan feedbacks asociados a las emisiones. Es decir, no se consideran las externalidades que estas emisiones pueden generar sobre la sociedad, ni tampoco considera que éstas afecten la utilidad de los hogares, como por ejemplo el efecto que tiene la contaminación sobre la salud.

El modelo ECOGEM permite implementar dos tipos de políticas para reducir emisiones: i) Fijar un impuesto a las emisiones y ii) Fijar un nivel máximo de emisiones. Además, estas políticas se pueden implementar para varios tipos de contaminantes.

b) Metodología para el cálculo del método de la emisión

Dessus et. al. (1994) realiza un primer esfuerzo para estimar factores de emisión en este modelo. En particular, calcula los factores de emisión a partir de una estimación econométrica con datos para Estados Unidos de la del Industrial Pollution Projection System (IPPS) del Banco Mundial, que contiene información sobre las emisiones contaminantes de fuentes industriales. El modelo usado se aprecia en la siguiente ecuación, donde las emisiones dependen linealmente del consumo de insumos intermedios y de variables dummies sectoriales. Las emisiones están medidas en unidades físicas, mientras que el consumo de insumos intermedios está contabilizado en unidades monetarias, por ello los factores de emisión se expresan en emisiones por unidad monetaria.

$$E_j^p = \sum_i \pi_i^p C_{ij} + \beta_j^p D_j + \mu_j$$

Donde:

E_j^p representa las emisiones del contaminante p del sector industrial j.

C_{ij} es el consumo del insumo i realizado por el sector j.

π_i^p es el factor de emisión por uso del insumo i.

D_j es la variable dummy que identifica al sector j.

β_j^p es el coeficiente asociado a esa variable a partir del cual, al dividirlo por el nivel de producción del sector j, se obtiene el factor de emisión por producción v_j^p .

Finalmente, se considera un error μ_j .

Para obtener el total de las emisiones del contaminante p liberadas al medioambiente hay que sumar las emisiones de cada industria⁷. También se asume que es posible estimar las emisiones a partir del consumo de bienes intermedios, en vez de hacerlo desde el enfoque más tradicional, que consiste en relacionar emisiones con la producción final. Según Dessus et. al. (1994) las ventajas de este enfoque son que las emisiones se pueden explicar por un número reducido de insumos, lo que ofrece un abanico de políticas públicas para controlar las emisiones, ya sea vía impuestos o subsidios a los insumos. Lo anterior, podría ser útil para economías en desarrollo ya que los costos de monitorear ese tipo de impuesto son menores a fiscalizar un impuesto a las emisiones de fin de tubo.

3. Factores de emisión calculados para Chile

El cálculo de factores de emisión nacionales para el modelo ECOGEM-Chile requiere de una base de datos que agrupe la información sobre las emisiones, el consumo de insumos intermedios y los niveles de producción para cada actividad económica en el país. Para ello se utilizan datos obtenidos de la

⁷ Al momento de realizar las regresiones, no se incluyó cómo variables explicativas al capital y al trabajo, los que se asumen como no contaminantes. También se consideró que los bienes intermedios que constituyen servicios y la electricidad no generan emisiones.

Matriz de Contabilidad Social (SAM por sus siglas en inglés) chilena del año 2003 y del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de Chile (RETC), que fue implementado a finales del año 2007.

Con el fin de unir la base del RETC con los datos de la SAM se agruparon y homologaron sus clasificaciones⁸. Como resultado, se obtuvo un total de 57 actividades industriales para las que se cuenta con información sobre las emisiones contaminantes, el consumo de insumos intermedios y el nivel de producción. Los contaminantes identificados son CO, CO₂, NO_x, SO_x, COV, NH₃, MP10, MP2.5 y PTS (partículas totales suspendidas). También se dispone de información de consumo de 73 tipos de insumos.

En el siguiente cuadro se presentan las principales actividades emisoras para distintos contaminantes. Los valores destacados corresponden a las actividades que más emiten para cada contaminante. Los sectores de “Electricidad y minerales no metálicos”⁹ y “Transporte urbano de pasajeros y carga” son responsables de varios de los máximos niveles de emisiones.

CUADRO 3
PRINCIPALES ACTIVIDADES CONTAMINANTES
(Toneladas emitidas en el año 2005)

	COV	MP10	MP2,5	NOX	PTS	SOX	CO ₂	CO	NH3
Elaboración de productos alimenticios diversos	370	1 269	1 029	6 171	1 516	11 105	4 976 347	21 699	3 478
Productos de la madera y subproductos	28 674	1 000	739	454	1 386	141	639 629	2 692	640
Electricidad y minerales no metálicos	9 136	17 011	5 638	17 923	19 508	64 005	57 973 235	45 505	2 096
Industrias básicas de hierro y acero	132	890	535	1 571	1 199	705	976 727	193 010	183
Industrias básicas de metales no ferrosos	88	8 049	6 459	4 923	13 897	230 707	2 365 550	1 093	104
Transporte urbano de pasajeros y carga	28 106	2 085	1 043	87 438	2 093	1 352	9 072 156	184 986	1 250

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Carriquiry, 2008.

La base de datos construida permite realizar el cálculo de factores de emisión por uso de insumos siguiendo la metodología ya descrita de Dessus et. al. (1994)¹⁰. Es decir, se buscaron aquellos insumos más correlacionados con las emisiones contaminantes. Una vez seleccionadas las variables, se realizó la

⁸ También se realizó un ajuste temporal, ya que la SAM es del año 2003 y el RETC del año 2005.

⁹ Al comparar los datos del RETC del año 2005 con el inventario de emisiones recientemente publicado en la Segunda Comunicación Nacional se aprecia que el sector de Elaboración de productos minerales no metálicos sobrestima las emisiones de CO₂ mientras que el sector de Energía las subestima en similar magnitud. Por este motivo se han agregado ambos sectores con el fin de realizar un análisis más realista. Los minerales no metálicos corresponden principalmente a “cemento” en términos de emisiones.

¹⁰ Los insumos responsables hace referencia a actividades/sectores de la matriz de insumo producto de Chile.

estimación econométrica incorporando variables *dummy* que identifica la actividad subestimada. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 4, donde se observa que los insumos responsables de la mayoría de las emisiones son casi siempre los mismos: carbón, petróleo y gas natural, y refinados de petróleo. En particular, el principal emisor de los gases analizados por el concepto de insumo productivo es el carbón.

CUADRO 4
FACTORES DE EMISIÓN DE CHILE POR CONSUMO DE INSUMOS
(Toneladas emitidas por millón de pesos del 2005)

	CO ₂	PTS	NOx	COV	SOx	MP10	MP2.5	NH3
Carbón	37,3277	0,0506	0,1872	0,0050	0,7546	0,0379	0,0231	0,0092
Petróleo y gas	5,8862	0,0013	0,0092	0,0006		0,0006	0,0006	
Combustibles refinado	0,6028	0,0005	0,0023	0,0002	0,0040	0,0013	0,0007	0,0008

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Carriquiry 2008.

Por otro lado, los factores de emisión asociados a la producción son analizados a través de los valores de las variables *dummies* y de las constantes de cada modelo de emisiones analizado. Estas variables representan industrias que tienen valores extremos de emisión o actividades que en sus procesos productivos generan emisiones de manera independiente a los insumos utilizados. El cuadro 5 muestra los valores de los factores de emisión por producción. Para calcular cada factor de emisión por producción se suman las emisiones asociadas a cada variable *dummy* y a la constante, luego se divide este monto por el nivel de producción de cada industria. En particular se aprecia que el principal sector emisor de CO₂ por valor de producción es Electricidad y minerales no metálicos, en términos de material particulado (MP10, MP2,5 y PTS) y SOx es la Industria básica de metales no ferrosos, mientras que en emisiones de NOx se distingue el sector de transportes. Por otro lado, los sectores con mayores emisiones de COV y de NH3 por valor de la producción son Producción de madera y sus productos e Industria de la leche, respectivamente.

CUADRO 5
FACTORES DE EMISIÓN DE CHILE POR PRODUCCIÓN
(Toneladas emitidas por millón de pesos del 2005)

	CO ₂	MP10	MP2.5	PTS	NOx	COV	SOx	NH3
Electricidad y minerales no metálicos	13,331	0,0036	0,0011	0,0041	0,0020	0,0021	0,0055	0,0005
Actividades inmobiliarias	1,757							
Industria pesquera	1,746				0,0024	0,0002		0,0006
Industrias básicas de metales no ferrosos	3,136	0,0102	0,0082	0,0170	0,0068		0,2596	
Producción de madera y sus productos		0,0009	0,0007	0,0012		0,0201		0,0007
Fabricación de papel			0,0003	0,0005				0,0008
Minería del cobre				0,0004				
Transporte urbano de pasajeros y carga					0,0261	0,0096		
Fabricación de sustancias químicas básicas					0,0027			
Industria de la leche							0,0067	0,0011
Elaboración de alimentos para animales								0,0005
Elaboración de conservas								0,0006

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Carriquiry 2008.

4. Validación de resultados

Una vez estimados los coeficientes de emisión por consumo y por producción para Chile se reemplazan en la ecuación de emisiones del modelo ECOGEM y se obtiene una base modelada de emisiones totales para Chile. En este sentido, y como se observa en el cuadro 6, las emisiones del modelo son similares en magnitud a las emisiones totales entregadas por el RETC. Por ejemplo, las emisiones modeladas de CO₂ corresponderían a cerca del 90% de las emisiones declaradas oficialmente y las de material particulado ajustarían casi el 100% del monto entregado por el RETC. Algunos ajustes no son tan precisos, aunque se mantienen en órdenes de magnitud similares a los datos oficiales, como en el caso de las emisiones de SOx (que subestima los valores oficiales) y de CO (que sobrestima el monto reportado).

CUADRO 6
AJUSTE DE EMISIONES EN CHILE
(En toneladas emitidas)

	RETC (2005)	Modelo ECOGEM
CO ₂	92 896 978	81 956 264
CO	469 317	842 030
SOX	386 573	210 380
NOX	152 225	195 316
COV	72 323	83 535
PTS	52 791	49 416
PM10	37 906	36 575
PM2.5	21 517	19 301
NH3	11 108	9 601

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Carriquiry 2008.

Otro factor de importancia en la evaluación de políticas ambientales se relaciona con la composición sectorial y su aporte a las emisiones modeladas. En este sentido resalta el hecho de que la composición de las emisiones modeladas por sector debe ser lo más realista posible y es por ello que en el cuadro 7 se presenta una comparación entre la composición de las emisiones modeladas y la participación que publica el gobierno de Chile a través del RETC.

Al comparar las cifras del RETC con los montos entregados en la Segunda Comunicación Nacional de Chile (MMA, 2011) se aprecian algunos cambios en la composición sectorial de las emisiones, aunque se mantiene la coherencia entre los resultados modelados y la última información disponible.

En este cuadro se aprecia que las emisiones analizadas se centran en dos o tres sectores y este porcentaje es cercano a las proporciones publicadas por el RETC. Por ejemplo, para las emisiones de CO₂ se centran en dos sectores “Electricidad y minerales no metálicos” y en “transporte urbano de pasajeros”, en este caso las emisiones modeladas son similares a las del RETC. El ajuste para otros gases también es bastante cercano al RETC con participaciones similares en SOx y en material particulado (MP2.5, MP10 y PTS).

También hay que destacar que existen sectores que son importantes en las emisiones de más de un contaminante. En este sentido es posible identificar Industrias básicas de metales no ferrosos con participaciones importantes en las emisiones de SOx, PM10, PM2.5 y PTS. También destaca el Suministro de electricidad en SOx, NOx, PM10, PM2.5, PTS y NH3; finalmente el Transporte urbano de pasajeros y carga presenta altas participaciones en las emisiones de NOx, COV, CO y CO₂.

CUADRO 7
PARTICIPACIÓN EN LAS EMISIONES TOTALES DE LOS PRINCIPALES SECTORES
(Porcentaje)

	SOx		NOx		CO		COV		CO ₂		PTS		PM10		PM2.5		NH3	
	RETC	Modelo Chile	RETC	Modelo Chile	RETC	Modelo Chile	RETC	Modelo Chile	RETC	Modelo Chile	RETC	Modelo Chile						
Industrias básicas de metales no ferrosos	67	65	4	0	0	0	0	0	3	2	29	19	24	15	33	23	2	0
Electricidad y minerales no metálicos	18	20	13	7	10	18	13	11	68	53	39	36	48	46	29	29	27	26
Transporte urbano de pasajeros y carga	0	0	57	74	39	28	39	54	10	25	4	8	6	8	7	6	11	15
Industrias básicas del hierro y acero	0	10	1	3	42	17	0	0	1	2	3	4	3	4	3	4	2	4
Producción de madera y sus productos	0	0	0	0	1	0	45	32	1	1	3	1	3	0	4	1	8	0
Fabricación de papel	1	0	1	0	1	1	0	0	2	1	2	1	2	0	3	1	15	17
Otros sectores	14	5	24	16	7	36	3	3	15	16	20	31	14	27	21	36	35	38
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Carriquiry 2008.

IV. Impactos socioeconómicos y ambientales de *shocks* energéticos

En este capítulo se complementa el análisis de los efectos económicos y sociales de *shocks* de los hidrocarburos en Chile desarrollado por O’Ryan et al (2008). En el estudio mencionado no se analizan los efectos ambientales, lo que impedía complementar el análisis desde una óptica de sostenibilidad. Por ello, en este capítulo se incluye un análisis de emisiones de distintos contaminantes calculados con factores de emisión para Chile.

A. Descripción de los escenarios simulados

El escenario central del estudio antes señalado, consiste en simular un aumento de los precios internacionales del petróleo en un 30% y de los combustibles en un 25%, lo que corresponde al aumento de precios observado en el período 2003-2004. A este aumento de precios se le agrega la restricción del abastecimiento de gas natural procedente de Argentina, lo que obliga a sustituirlo por gas natural licuado. También se asume que la capacidad de compensar estos *shocks* mediante un aumento en la producción de crudo y gas natural chileno es muy limitada.

Dentro de las reglas de política se asume que el gasto de gobierno se mantiene fijo y las variaciones en los ingresos se saldan a través de un mayor ahorro/déficit público, es decir, no hay políticas sociales compensatorias. Además, se consideran condiciones de corto plazo, es decir, asumiendo bajos grados de sustitución energética y de movilidad en los mercados.

Posteriormente, este supuesto es relajado al realizar un análisis de sensibilidad que permite incluir consideraciones de más largo plazo. A continuación se analizan los principales resultados del escenario de *shocks* de energéticos antes descrito.

B. Impactos macroeconómicos

El aumento en el precio de los energéticos importados se transmite directamente a los precios internos¹¹, generando costos más altos de diversos insumos productivos. El mayor cambio en los precios internos se observa en los combustibles; en los sectores energéticos como petróleo y gas natural; y en aquellos sectores dependientes de los combustibles como el transporte terrestre y la electricidad. Dadas las restricciones del corto plazo, la variación de precios genera cambios en la rentabilidad sectorial, de esta forma se sustituye capital menos rentable por trabajo, hasta alcanzar el nuevo equilibrio donde los costos laborales son levemente más altos.

Asimismo, en el cuadro 8, se observa una caída en los ingresos reales de los hogares, quienes enfrentan precios más altos, lo que disminuye el consumo agregado en -3,9%. La inversión, que depende del ahorro disponible en la economía, presenta una variación negativa del -1,1%, lo que se explica por una caída del ahorro de hogares y de las empresas. En general, el aumento del precio del petróleo y de los combustibles, junto a la restricción de gas natural tiene un impacto recesivo, constatándose una leve reducción del PIB en términos reales de -0,5% y una caída similar del valor bruto de la producción de -0,4%.

CUADRO 8
EFFECTOS MACROECONÓMICOS DE SHOCKS ENERGÉTICOS

	Nivel BAU ^a (En miles de millones de pesos)	Petróleo y combustibles ^b	Gas natural ^b	Petróleo, combustibles y gas natural ^b
		(En porcentajes)		
PIB real a precios de mercado	51 160	-0,2	-0,3	-0,5
Consumo	32 109	-1,8	-2,1	-3,9
Inversión	10 310	-0,4	-1,1	-1,1
Gobierno	6 146	0,0	0,0	0,0
Exportaciones	18 685	0,3	1,6	2,4
Importaciones	16 581	-2,6	-1,9	-4,1
Valor bruto de la producción	98 676	-0,3	-0,2	-0,4
Absorción	48 566	-1,3	-1,6	-2,8
Términos de intercambio	100	-3,5	-4,5	-7,8
Ingreso real de los hogares	34 193	-1,8	-2,1	-4,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de O’Ryan et al (2008).

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

¹¹ En este caso, los precios internos se definen como aquellos que enfrenta el consumidor final y deben entenderse como cambios en precios sombra relativos.

C. Impactos sectoriales

Los impactos sobre los sectores dependen de su grado de relación con los sectores energéticos afectados. La rentabilidad de la economía en su conjunto, al incorporar los diversos *shocks*, se reduce en un -0,7%. Además, se aprecia una caída en la rentabilidad relativa de los sectores de transporte y servicios; y un aumento en la de los sectores de recursos naturales.

Si bien la mayoría de los sectores presentan reducciones en su rentabilidad, los diferenciales en rentabilidades relativas contribuyen a que algunos de ellos experimenten caídas en el valor bruto de la producción (VBP), mientras que otros las aumenten (cuadro 9). La demanda doméstica por bienes y servicios se reduce para todos los sectores. Los sectores de recursos naturales (mayores exportadores) presentan un mayor dinamismo por el aumento del tipo de cambio. Mientras, que los sectores perdedores son fundamentalmente el de propiedad de la vivienda, transporte y servicios. En definitiva los *shocks* de hidrocarburos dirigen a la economía chilena hacia un patrón productivo más dependiente aún de los sectores primarios, donde el país presenta ventajas comparativas.

CUADRO 9
EFFECTOS SOBRE EL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN

	Nivel BAU ^a (En miles de millones de pesos)	Petróleo y combustibles ^b	Gas natural ^b	Petróleo, combustibles y gas natural ^b
		(En porcentajes)		
Agropecuario Silvícola	3 905	0,4	2,0	2,2
Pesca Extractiva	1 389	1,4	4,2	5,0
Minería	8 435	4,2	2,1	5,8
Industria Manufacturera	23 672	-0,1	-1,4	-0,8
Electricidad, Gas y Agua	3 325	-0,4	3,3	3,0
Construcción	7 267	-0,6	-1,2	-1,4
Comercio, Hoteles y Restaurantes	11 798	-0,2	-0,1	-0,4
Transporte y Comunicaciones	11 022	-3,7	-0,7	-4,7
Intermediación Financiera y Servicios Empresariales	12 346	0,3	0,5	0,8
Propiedad de Vivienda	3 674	-2,5	-3,3	-6,0
Servicios Sociales y Personales	8 378	-0,9	-1,2	-2,1
Administración Pública	3 464	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de O'Ryan et al (2008).

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

En el cuadro 10 se muestran los principales efectos de los *shocks* de energéticos importados sobre la industria energética nacional y los sectores más eslabonados con éstos. Los sectores que tienen como su principal insumo algún energético (como transporte) o los posibles sustitutos (como el carbón) son los más afectados en cuanto a su valor bruto de la producción. Dentro del transporte, el marítimo y el aéreo son los más negativamente afectados¹².

CUADRO 10
EFFECTOS SOBRE EL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN EN LOS SECTORES
ENERGÉTICOS Y RELACIONADOS

	Nivel BAU ^a (En miles de millones de pesos)	Petróleo y combustibles ^b	Gas natural ^b	Petróleo, combustibles y gas natural ^b
		(En porcentajes)		
Carbón	14	1,8	3,2	4,9
Petróleo	19	37,9	-23,1	22,4
Gas Natural	81	-0,9	87,0	88,3
Combustibles	2 907	-7,9	-16,9	-17,6
Electricidad	2 768	0,1	4,8	5,0
Suministro de gas	128	-2,5	-5,1	-5,8
Transporte ferroviario	129	0,6	-0,5	-0,1
Transporte por carretera	4 345	-0,1	-0,7	-0,7
Transporte marítimo	1 150	-23,1	-4,5	-29,1
Transporte aéreo	1 210	-7,5	-0,8	-8,9

Fuente: Elaboración propia sobre la base de O’Ryan et al (2008).

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

D. Impactos sociales

Los impactos en el nivel de ingresos y en su distribución son claramente negativos. La mayor competitividad relativa de sectores intensivos en capital, junto con el aumento de precios en la canasta de consumo provocan una pérdida de poder adquisitivo en cada quintil. Téngase en cuenta además que las variaciones en la recaudación fiscal se ajusta vía variaciones en el ahorro público¹³ (aumentos en precios de combustibles lleva aparejados mayor recaudación de impuestos específicos) y que no se realizan políticas sociales (transferencias o subsidios) compensatorias. Las caídas de ingreso real son mayores en los quintiles de menor ingreso: el quintil más pobre reduce su ingreso real en un -9,8% mientras que el quintil más rico lo hace en un -3,5% (cuadro 11), en el peor de los escenarios.

¹² Estos efectos probablemente están sobrestimados al no considerar el hecho que el costo de los combustibles sube además para la competencia externa.

¹³ El ahorro público se integra al ahorro total de la economía como fuente de recursos para la inversión.

CUADRO 11
EFFECTOS DISTRIBUTIVOS DE SHOCKS ENERGÉTICOS

	Nivel BAU ^a (En miles de millones de pesos)	Petróleo y combustibles ^c	Gas natural ^c	Petróleo, combustibles y gas natural ^c
		(En porcentajes)		
Salario promedio ^b	1	0,2	0,7	0,8
Ingreso real quintil 1	1 359	-2,9	-5,6	-9,8
Ingreso real quintil 2	2 012	-2,5	-3,7	-7,0
Ingreso real quintil 3	2 870	-1,9	-2,0	-4,0
Ingreso real quintil 4	4 287	-1,7	-1,6	-3,2
Ingreso real quintil 5	23 665	-1,7	-1,9	-3,5

Fuente: Elaboración propia sobre la base de O’Ryan et al (2008).

^a En pesos del 2003.

^b Al ser el numerario el deflactor del PIB el salario nominal coincide con salario real.

^c Cambios sobre el nivel BAU.

En todas las simulaciones consideradas se produce un mayor ahorro de gobierno fruto de la mayor recaudación en los impuestos, principalmente a los combustibles e IVA (los impuestos directos se reducirían levemente). En estos resultados sociales no se incluye la posibilidad de utilizar esos recursos adicionales para políticas sociales compensatorias (transferencias o subsidios).

E. Impactos ambientales

En el presente punto se analizan los impactos ambientales generados en el escenario central, que incorpora aumentos en el precio de los hidrocarburos y la restricción a la importación de gas natural. Con los coeficientes de emisión calculados para Chile, se analizan los impactos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, se identifican los principales sectores causantes de un aumento o disminución de las emisiones de CO₂ y sus principales canales de transmisión. Luego, se analizan los impactos sobre el resto de contaminantes considerados.

1. Impactos sobre las emisiones de CO₂

La reducción en la producción sectorial y en el consumo de los hogares, generada por el *shock* energético, influye directamente en una disminución de las emisiones de CO₂. El monto de esta contracción depende en gran medida del comportamiento sectorial y de su intensidad carbónica. Por otro lado, el grado de sustitución entre energéticos toma un rol fundamental para explicar la evolución de las emisiones. Por ello, la siguiente sección se enfoca en estudiar escenarios con un mayor grado de sustitución ya que en ésta se analizan únicamente los impactos de corto plazo.

El incremento en el precio del petróleo y sus derivados, junto con el mayor costo del gas natural, genera una disminución en las emisiones de CO₂ de un -1,7%, lo que es causado por dos efectos de distinta magnitud. El primero se asocia a una reducción de un -1,2% en las emisiones por la menor producción industrial, efecto que se explica por las menores emisiones del sector de transporte y de la minería no metálica. El segundo efecto se origina por una caída de las emisiones por consumo final -5,4% lo que se explica principalmente por el menor consumo de combustibles. Por el contrario, otros sectores tienden a aumentar sus emisiones de CO₂, entre ellos, electricidad, cobre e industrias no ferrosas.

Al analizar los *shocks* energéticos en forma separada se aprecia que los impactos sobre las emisiones de CO₂ son menores en forma individual. Al considerar solo el aumento del precio del petróleo y sus derivados, las emisiones de CO₂ disminuyen en un -0,7% y cuando solo se considera la restricción de usar gas natural, las emisiones se reducen en un -1,2% (debido a los mayores impactos productivos de corto plazo).

Las diferencias en la magnitud de los efectos de los *shocks* se deben principalmente a los sectores de transporte, industrial y de electricidad. En primer lugar, el *shock* de petróleo y combustibles afecta en forma directa los costos de los sectores de transporte, por lo que sus emisiones disminuyen más en este caso que con la restricción de gas natural. En segundo lugar, con el *shock* de gas natural, los sectores productivos como la industria de minerales no metálicos, de hierro y no ferroso se contraen más que con el *shock* de petróleo y combustibles, lo que genera una mayor reducción de emisiones por la incapacidad de sustituir la escasez de gas natural en el corto plazo. Finalmente, el sector eléctrico no presenta una mayor variación en su producción o en sus emisiones cuando aumenta el precio del petróleo y sus derivados. Sin embargo, sí incrementa sus emisiones con el *shock* de gas natural debido a que compensa el menor requerimiento de este insumo con fuentes más contaminantes.

CUADRO 12
VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO₂ POR SHOCKS ENERGÉTICOS

	Nivel BAU (Toneladas emitidas)	Petróleo y combustibles ^a	Gas natural ^a	Petróleo, combustibles y gas natural ^a
		(En porcentajes)		
Emisiones de CO ₂ totales	81 956 264	-0,7	-1,2	-1,7
Emisiones de CO ₂ por procesos productivos	72 851 231	-0,4	-0,9	-1,2
Emisiones de CO ₂ por demanda final	9 105 033	-3,1	-3,0	-5,4

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a Cambios sobre el nivel BAU.

2. Otros impactos sobre las emisiones

El incremento en los precios de los hidrocarburos y la baja disponibilidad de gas natural generan una redistribución en la intensidad del uso de insumos energéticos. De esta forma se afecta en distinta magnitud a las emisiones de contaminantes al aire. En particular, además del CO₂, se han analizado siete contaminantes al aire, SO_x, NO_x, NH₃, MP10, MP2.5; partículas totales suspendidas (PTS) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

Las emisiones presentan un comportamiento dispar frente a *shock* de energéticos (cuadro 13). En primer lugar, con el *shock* del petróleo, sus derivados y gas natural, disminuyen las emisiones de NO_x (-1,4%) y NH₃ (-0,2%). La disminución de las emisiones de NO_x y en menor medida NH₃ se ven influenciadas por las menores emisiones en producción y consumo de combustibles, y por las menores emisiones asociadas a la actividad de transporte.

Por otro lado, en el mismo escenario, aumentan las emisiones de SO_x (3,1%), COV (2,0%), PTS (1,5%), MP10 (1,8%) y MP2.5 (1,0%). Las emisiones de SO_x aumentan por las mayores emisiones de los sectores de electricidad y la industria de minerales no ferrosos. Las de COV lo hacen por los sectores de electricidad y productos de la madera; y el material particulado, en sus diversas categorías, se incrementa principalmente por el sector eléctrico.

En el escenario de aumento de precios del petróleo y combustibles se mantienen los signos de las variaciones experimentadas en el *shock* antes señalado aunque en menor magnitud. En el escenario de gas natural también se mantienen los signos salvo en el caso del NH₃ donde aumentan las emisiones como causa de las mayores emisiones del sector eléctrico.

CUADRO 13
EFFECTOS AMBIENTALES TOTALES

	Nivel BAU (Toneladas emitidas)	Petróleo y combustibles ^a	Gas natural ^a	Petróleo, combustibles y gas natural ^a
		(En porcentajes)		
SOx	210 380	2,3	1,0	3,1
NOx	195 316	-0,7	-1,0	-1,4
COV	83 535	0,6	1,4	2,0
PTS	49 416	0,3	1,1	1,5
MP10	36 575	0,1	1,5	1,8
MP25	19 301	0,3	0,5	1,0
NH3	9 601	-0,3	0,2	-0,2

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a Cambios sobre el nivel BAU.

En general, para el *shock* conjunto, se aprecian diversos mecanismos que impactan sobre las emisiones. Los mecanismos que generan un aumento en la contaminación se asocian a un cambio en la matriz del sector eléctrico, que para sustituir la menor disponibilidad de gas natural y petróleo aumenta el consumo de carbón. Las emisiones también se incrementan a causa de variaciones en los términos de intercambio y rentabilidades relativas que tienden a reprimarizar la estructura productiva, lo que influye sobre la industria no ferrosa, del cobre y sobre el sector de madera. Los mecanismos que originan menores emisiones se asocian a una menor actividad de los sectores de transporte y elaboración de combustibles quienes ven incrementado el costo de sus principales factores productivos.

V. Resultados de mediano plazo

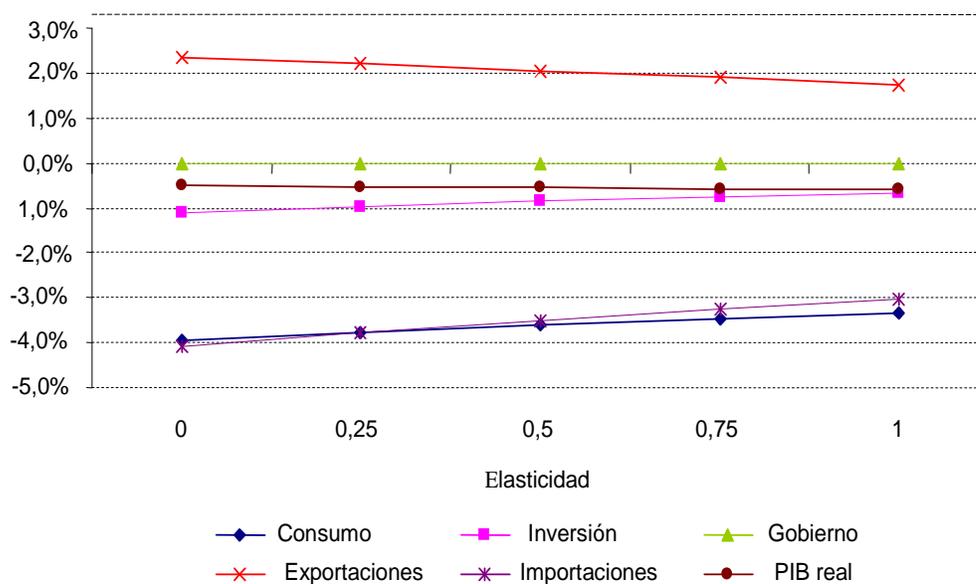
El análisis anterior permite estudiar los impactos de *shocks* energéticos pero desde una perspectiva de corto plazo debido a que se impone el supuesto de nula sustitución entre insumos energéticos. En este apartado se relaja dicho supuesto, y se permiten distintos grados de sustitución, lo que entrega una visión de mediano y largo plazo al permitir una mayor flexibilidad en el uso de factores productivos. Para ello, se han utilizado diversas elasticidades de sustitución que se varían desde cero hasta uno.

El aumento en el grado de sustitución entre insumos energéticos permite observar distintos grados de sensibilidad en algunas variables. En general las variables macroeconómicas no presentan variaciones, mientras que las variables sectoriales sí son más sensibles a las condiciones de mayor sustitución entre energéticos. Lo anterior genera diversos efectos ambientales que son interesantes de analizar, tomando como base el *shock* de petróleo, combustibles y gas natural.

A. Impactos macroeconómicos

En el gráfico 5 se aprecia la baja sensibilidad de las variables macroeconómicas cuando se varía de nula a máxima sustitución: ninguna variable presenta cambios en el signo de su variación, la máxima variación, que es menor al uno por ciento, la presentan las variables de consumo, exportaciones e importaciones. Por último, la inversión se ve afectada en un menor grado y el PIB real no presenta cambios.

GRÁFICO 5
EFFECTOS MACROECONÓMICOS ANTE DISTINTOS GRADOS DE SUSTITUCIÓN



Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

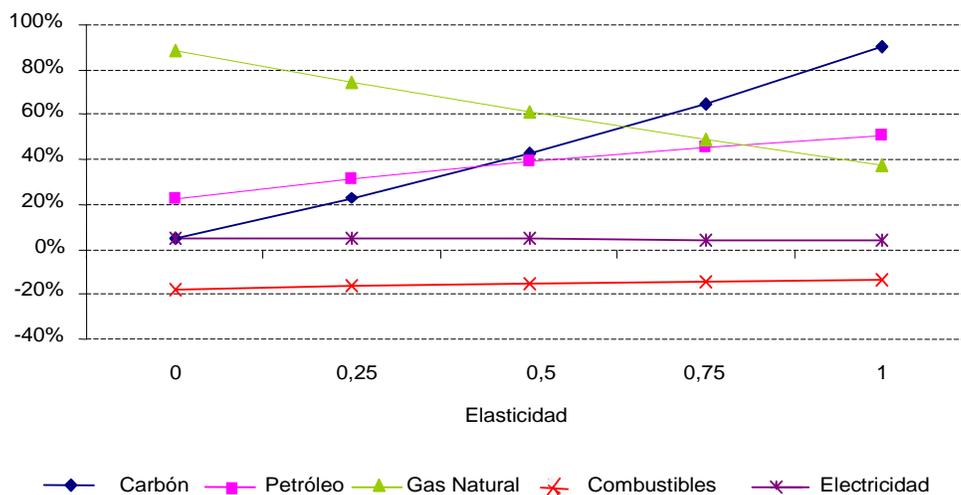
B. Impactos productivos

El valor bruto de la producción de la mayoría de los sectores no energéticos se mantiene sin variaciones ante el mayor grado de sustitución permitido. Sin embargo, los sectores energéticos, gas natural, petróleo y carbón, sí presentan cambios importantes (gráfico 6 y 7); mientras que electricidad y combustibles prácticamente no varían su nivel de actividad ante los cambios de elasticidades.

Cuando se permiten altos grados de sustitución, el sector de gas natural presenta una disminución en el aumento de la producción doméstica (varía de un 88% a un 37%) y las importaciones también caen más (de un -16% a un -53%). Lo anterior se explica en que su encarecimiento relativo, hace más atractivo al carbón y al petróleo. El sector de carbón aumenta de manera importante su producción doméstica (desde un 5% hasta un 90%) y este efecto también se aprecia en las importaciones de carbón (2% a un 85%). Otro sector que aumenta su producción doméstica es petróleo (desde un 22% hasta un 50%) y se reduce la caída en sus importaciones (de -17% a -4%).

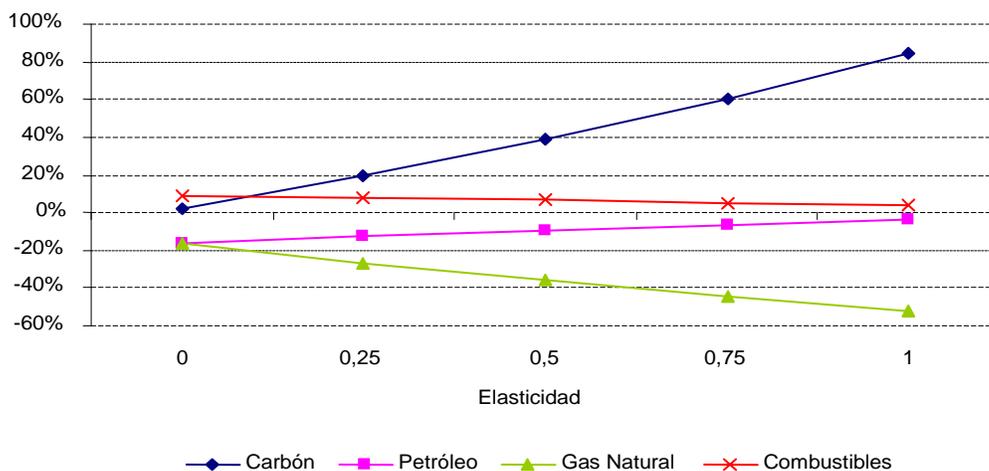
Luego, el mayor grado de sustitución entre insumos energéticos genera menos rigideces en la economía ya que es posible utilizar recursos alternativos. En particular anticipa la tendencia, de mantenerse las condiciones del *shock* simulado, a sustituir el gas natural por carbón. De esta forma, se aprecia que de no existir cambios tecnológicos ni estructurales, la economía se irá carbonizando cada vez más con consecuencias medio ambientales negativas como las que se aprecian en el siguiente punto.

GRÁFICO 6
EFFECTOS SOBRE EL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN SECTORIAL
ANTE DISTINTOS GRADOS DE SUSTITUCIÓN



Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

GRÁFICO 7
EFFECTOS SOBRE LAS IMPORTACIONES ENERGÉTICAS ANTE DISTINTOS
GRADOS DE SUSTITUCIÓN



Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

C. Impactos ambientales

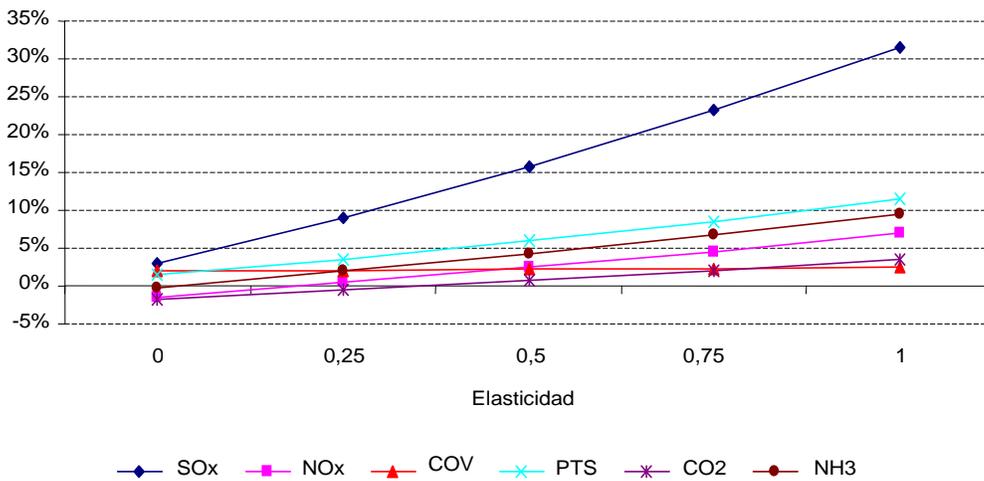
En general, todas las emisiones aumentan en el mediano plazo (gráfico 8)¹⁴. Este efecto se debe principalmente a que, la economía tenderá a carbonizarse dado que, los sectores presentan una mayor posibilidad de ajustar sus costos. Este ajuste se desarrolla sustituyendo insumos más caros como: gas

¹⁴ Este análisis se desarrolla con los factores de emisión calculados para Chile.

natural, petróleo y sus derivados; por otros más baratos (en términos relativos) como el carbón, insumo que genera mayores emisiones.

Las emisiones que más aumentan en el mediano plazo, en comparación con el corto plazo, son las de SO_x. Mientras que las emisiones de CO₂ y NO_x, que se reducen levemente en el corto plazo aumentan ante mayores grados de sustitución. Destaca el sector de generación eléctrica como el principal causante del aumento en todas las emisiones en el mediano plazo. Debido a los *shocks*, la importancia del gas natural en la matriz energética, en el mediano plazo, disminuye fuertemente y por el mayor grado de sustitución, la generación eléctrica acaba basándose en carbón. Como consecuencia de aquello aumentan las emisiones de CO₂, PTS, NO_x, SO_x y NH₃.

GRÁFICO 8
EFFECTOS AMBIENTALES ANTE DISTINTOS GRADOS DE SUSTITUCIÓN ENTRE ENERGÉTICOS



Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

Es menester notar que si bien una mayor sustitución genera mayores emisiones de CO₂ por el consumo de carbón y petróleo, no se ha incluido en este modelo la posibilidad de aumentar las centrales hidroeléctricas ni la incorporación de criterios de eficiencia energética. Lo anterior, en términos de mediano y largo plazo ayudaría a disminuir este incremento.

VI. Medidas de mitigación de emisiones de CO₂: Impuestos y venta de certificados

En este capítulo se analizan los efectos económicos, sociales y ambientales generados por el cobro de un impuesto a las emisiones de CO₂¹⁵. En particular, se analiza un escenario impositivo que permite lograr una reducción de un 1,7% en las emisiones de CO₂, equivalente a la obtenida con el *shock* de hidrocarburos y gas natural presentada en el apartado anterior. Además, se simula un escenario que incorpora la venta de las reducciones de CO₂ a través de certificados de emisión, con un valor 20 dólares por tonelada reducida¹⁶.

En estas simulaciones, al igual que las presentadas en el capítulo IV, se asume un escenario de corto plazo en que existe poca flexibilidad, caracterizado por una baja movilidad del capital y la imposibilidad de sustituir insumos energéticos. También, se considera fijo el gasto público, ajustando mediante el ahorro público las variaciones en el ingreso del gobierno.

A. Impactos macroeconómicos

Una política focalizada en reducir emisiones de CO₂ genera un efecto neutro en las principales variables macroeconómicas. A diferencia del *shock* de hidrocarburos, en que si bien se reduce la misma cantidad emisiones, los impactos agregados son de mayor magnitud (cuadro 14), la aplicación del impuesto a las emisiones de CO₂ no genera impactos sobre el PIB real, el valor bruto de la producción, la absorción y los términos de intercambio. Sin embargo, se aprecia un aumento en la inversión.

¹⁵ Los impactos ambientales son analizados con los coeficientes calculados para Chile.

¹⁶ Los ingresos generados por la venta de certificados se simulan a través de un aumento en el ahorro externo.

Cuando se incorpora la venta de reducción de emisiones, por medio de certificados, se aprecia que los resultados no varían sustancialmente del caso anterior salvo por un mayor aumento de inversión.

La inversión tiende a aumentar por la mayor recaudación de gobierno generada por el impuesto a las emisiones que aumenta los recursos disponibles. En este caso el impuesto a las emisiones también genera una leve caída en la actividad de algunos sectores, lo que disminuye levemente la recaudación por impuestos directos a las empresas. Sin embargo, en términos netos este último efecto no contrarresta el aumento en los ingresos del gobierno por lo que el ahorro público aumenta en un 18% respecto a la existente en el año de referencia (cuadro 15).

CUADRO 14
EFFECTOS MACROECONÓMICOS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

	Nivel BAU ^a <i>(En miles de millones de pesos)</i>	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
		<i>(En porcentajes)</i>		
PIB real a precios de mercado	51 160	-0,5	0,0	0,0
Consumo	32 109	-3,9	-0,1	-0,1
Inversión	10 310	-1,1	0,5	0,7
Gobierno	6 146	0,0	0,0	0,0
Exportaciones	18 685	2,4	0,0	-0,1
Importaciones	16 581	-4,1	0,1	0,1
Valor bruto de la producción	98 676	-0,4	0,0	0,0
Absorción	48 566	-2,8	0,0	0,1
Términos de intercambio	100	-7,8	0,0	0,0
Ingreso real de los hogares	34 193	-2,1	-0,1	-0,1
Ahorro externo	546	0,0	0,0	3,5

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

CUADRO 15
EFFECTOS FISCALES DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

	Nivel BAU ^a <i>(En miles de millones de pesos)</i>	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
		<i>(En porcentajes)</i>		
Ahorro de gobierno	655	32,2	18,3	18,2
Impuesto directo a las empresas	1 354	-0,5	-0,1	-0,1
Impuesto directo a los hogares	942	0,5	0,1	0,1
Impuestos directos y a la producción	1 867	3,7	0,1	0,1
IVA	3 770	4,7	0,2	0,2
Aranceles	526	17,3	0,3	0,3
Impuesto a las emisiones (miles de MM de pesos)	-	-	118	118

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

B. Impactos sociales

Los impactos distributivos del impuesto a las emisiones de CO₂ son prácticamente nulos ya que, en general, este impacto tiende a ser neutral o positivo en términos distributivos (cuadro 16). Además, la posible contracción en el ingreso real de los hogares como fruto de un aumento en el costo de las canastas de consumo de cada quintil no es significativa. El escenario anterior presenta una gran diferencia con el *shock* de hidrocarburos, ya que este último es contractivo y regresivo en ausencia de políticas compensatorias.

CUADRO 16
EFFECTOS EN LOS INGRESOS POR MEDIDAS DE MITIGACIÓN

	Nivel BAU ^a <i>(En miles de millones de pesos e índices)</i>	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
		<i>(En porcentajes)</i>		
Salario promedio ^b	1	0,8	0,1	0,2
Ingreso real Quintil1	1 359	-9,8	-0,1	-0,1
Ingreso real Quintil2	2 012	-7,0	-0,1	-0,1
Ingreso real Quintil3	2 870	-4,0	-0,1	-0,1
Ingreso real Quintil4	4 287	-3,2	-0,1	0,0
Ingreso real Quintil5	23 665	-3,5	-0,2	-0,1
Índice de precios Quintil1	100	11,4	0,2	0,2
Índice de precios Quintil2	100	8,4	0,2	0,2
Índice de precios Quintil3	100	5,1	0,2	0,2
Índice de precios Quintil4	100	4,3	0,2	0,2
Índice de precios Quintil5	100	4,0	0,2	0,2

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

C. Impactos sectoriales

Si bien, el cobro del impuesto a las emisiones de CO₂ genera cambios en la estructura productiva sectorial, al comparar con el *shock* de hidrocarburos, se aprecia que el impuesto apenas genera impactos. El mecanismo de propagación de este impacto se origina por cambios en las rentabilidades relativas de cada sector, afectando en mayor medida a los sectores intensivos en emisiones de CO₂.

El principal impacto contractivo se da en el sector de “transporte y comunicaciones” debido fundamentalmente a la importante contracción del transporte marítimo y caminero. Por otro lado, los sectores que incrementan su producción son construcción, minería y pesca extractiva (cuadro 17) lo que está ligado a su mayor rentabilidad relativa una vez introducido el impuesto. Estos resultados se mantienen en similar magnitud cuando se incorpora la venta de certificados de emisión. En general, en los escenarios de impuestos a las emisiones de CO₂, los efectos contractivos y expansivos se anulan, por lo que el valor bruto de la producción nacional se mantiene sin cambio.

CUADRO 17
EFFECTOS SOBRE EL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN SECTORIAL DE LAS
MEDIDAS DE MITIGACION

	Nivel BAU ^a	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
	(En miles de millones de pesos)	(En porcentajes)		
Agropecuaria Silvícola	3 905	2,2	0,1	0,0
Pesca Extractiva	1 389	5,0	0,2	0,1
Minería	8 435	5,8	0,2	0,2
Industria Manufacturera	23 672	-0,8	-0,1	-0,1
Electricidad, Gas y Agua	3 325	3,0	0,0	0,0
Construcción	7 267	-1,4	0,5	0,6
Comercio, Hoteles y Restaurantes	11 798	-0,4	0,0	0,0
Transporte y Comunicaciones	11 022	-4,7	-0,2	-0,3
Intermediación Financiera y Servicios Empresariales	12 346	0,8	0,0	0,0
Propiedad de Vivienda	3 674	-6,0	-0,2	-0,2
Servicios Sociales y Personales	8 378	-2,1	-0,1	-0,1
Administración Pública	3 464	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

D. Impactos ambientales

En este punto se analizan los impactos ambientales de un impuesto a las emisiones de CO₂. Para ello se estudia la magnitud y composición de las reducciones en CO₂ y se analiza la existencia de co-beneficios ambientales asociados a reducciones de otros contaminantes.

1. Impactos sobre gases de efecto invernadero

La reducción de emisiones de CO₂ en el escenario de *shock* de energéticos y en el escenario del impuesto ambiental es la misma (por condiciones impuestas). Por otro lado, cuando se incorpora la venta de certificados de emisión la reducción es levemente menor debido a que se asume que la venta de certificados incentiva la demanda por inversión y por con ello a la actividad sectorial (cuadro 18).

Del cuadro 18 se observa que la principal diferencia entre estos escenarios se relaciona con la composición en la reducción de emisiones. En particular, el *shock* energético impacta en mayor medida a la demanda final, lo que origina una mayor contracción proporcional en las emisiones generadas por consumo (-5,4%) versus producción (-1,2%). A diferencia del caso anterior, el impuesto al CO₂ genera una menor contracción por efectos de consumo (-0,2%) y una mayor contracción por efectos productivos. Esta proporción se mantiene también para el caso en que se venden permisos de emisión.

CUADRO 18
CAMBIO EN LAS EMISIONES DE CO₂ POR MITIGACIÓN

	Nivel BAU ^a (Toneladas)	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b (En porcentajes)	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
Emisiones de CO ₂ totales	81 956 264	-1,7	-1,7	-1,6
Emisiones de CO ₂ por procesos productivos	72 851 231	-1,2	-1,9	-1,8
Emisiones de CO ₂ por demanda final	9 105 033	-5,4	-0,2	-0,2

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

En cuanto a las emisiones sectoriales se aprecia que en el caso de los *shocks* energéticos existía un amplio espectro de sectores que reducían o aumentaban sus emisiones en variadas magnitudes (cuadro 19, primera columna). Por otro lado, con el impuesto a las emisiones el mayor impacto contractivo se focaliza en la industria manufactura, mientras que los sectores que más aumentan sus emisiones son construcción y minería.

CUADRO 19
EMISIONES SECTORIALES DE CO₂ Y MITIGACIÓN
(En porcentajes)

	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
Agropecuario Silvícola	1,3	0,0	0,0
Pesca Extractiva	4,8	0,2	0,1
Minería	4,4	0,2	0,2
Industria Manufacturera	-2,1	-2,7	-2,6
Electricidad, Gas y Agua	4,5	0,0	0,0
Construcción	-1,5	0,5	0,6
Comercio, Hoteles y Restaurantes	-0,5	0,0	0,0
Transporte y Comunicaciones	-2,6	-0,1	-0,1
Intermediación Financiera y Servicios Empresariales	1,0	0,0	0,0
Propiedad de Vivienda	-6,0	-0,2	-0,2
Servicios Sociales y Personales	-2,7	-0,1	-0,1
Administración Pública	-0,2	0,0	0,0
Emisiones totales	-1,7	-1,7	-1,6

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

2. CO-beneficios ambientales

El cobro de un impuesto a las emisiones de CO₂ presenta co-beneficios ambientales que se ligan a la reducción de otros contaminantes locales al aire. Con el impuesto al CO₂ se aprecian co-beneficios importantes con las emisiones de SO_x y material particulado con reducciones en torno al 1% y 2% respectivamente y, en menor magnitud, disminuyen las emisiones de NH₃, NO_x y los compuestos

orgánicos volátiles. En términos generales se aprecia un co-beneficio general en las emisiones totales al aire. El efecto anterior es muy distinto al logrado con el *shock* de hidrocarburos ya que debido a las distintas sustituciones de energéticos aumentaban otros contaminantes ligados al uso del carbón como energético (cuadro 20).

CUADRO 20
CO-BENEFICIOS AMBIENTALES Y MITIGACIÓN

	Nivel BAU ^a (en toneladas)	Petróleo, combustibles y gas natural ^b	Impuesto al CO ₂ ^b (En porcentaje)	Impuesto al CO ₂ y venta de certificados a 20 US/ton ^b
SOx	210 380	3,1	-2,1	-2,1
NOx	195 316	-1,4	-0,1	-0,1
COV	83 535	2,0	0,0	-0,1
PTS	49 416	1,5	-0,6	-0,6
CO ₂	81 956 264	-1,7	-1,7	-1,6
MP10	36 575	1,8	-0,5	-0,5
MP25	1 9301	1,0	-0,8	-0,8
NH3	9 601	-0,2	-0,1	-0,1

Fuente: Elaboración propia sobre la base de simulaciones con el modelo ECOGEM-Chile.

^a En pesos del 2003.

^b Cambios sobre el nivel BAU.

VII. Conclusiones y recomendaciones de política

Las consecuencias económicas, sociales y ambientales de la alta dependencia energética externa de Chile se han analizado a través de diversos escenarios energéticos.

Cuando se analiza hacia donde tienden los resultados, la evolución proyectada de la matriz energética, sin gas natural y con mayor dependencia del carbón, hace entrever serias dificultades para reducir las emisiones de dióxido de carbono, o al menos mantenerlas por unidad de producto, tal como sería deseable por los compromisos asumidos por Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y en su plan de acción en cambio climático.

El escenario simulado de incremento de los precios internacionales del petróleo y de los combustibles y la ausencia de suministro de gas natural de Argentina genera diversos impactos socioeconómicos y ambientales. A nivel macroeconómico se observa un impacto levemente negativo sobre el PIB, explicado principalmente por un menor dinamismo del consumo. A nivel sectorial, las mayores contracciones productivas se dan en los sectores de combustibles y transporte. Por otro lado, la producción de carbón aparece fuertemente beneficiada. Los impactos sociales, en ausencia de medidas compensatorias, no son positivos.

Desde un punto de vista ambiental, en la medida que los insumos energéticos no sean fácilmente sustituibles, los impactos serían levemente positivos en lo que respecta a las emisiones totales de dióxido de carbono, que se reducirían en un 0,7%, así como en buena parte del resto de contaminantes atmosféricos.

El shock internacional de precios de hidrocarburos genera una disminución de las emisiones de CO₂, en el corto plazo, debido a la menor actividad en general, y del sector del transporte en particular. Esta disminución inicial en las emisiones tendería a revertirse, aumentando en el mediano plazo a causa de la mayor sustitución de gas por carbón, principal insumo emisor de CO₂.

Por otro lado, si se quisiera aplicar un impuesto a las emisiones de CO₂, que genere una reducción similar de emisiones que el *shock* de precios supuesto en este documento, no habría efectos contractivos sobre la economía a diferencia de los producidos por un *shock* de precios de hidrocarburos, y se producirían mayores co-beneficios ambientales por reducción de las emisiones al aire de otros contaminantes. Además, se generarían señales de precios adecuadas para descarbonizar la economía y alterar los precios relativos entre el carbón y otras fuentes energéticas como las renovables. La venta de certificados de reducción de emisiones permite obtener mayores beneficios sobre la economía, principalmente a través de un incremento en la inversión. Finalmente, a diferencia de un *shock* de precios de hidrocarburos, el impuesto a las emisiones de CO₂ aparece como neutral en términos distributivos cumpliendo con el mismo objetivo ambiental. No obstante, es necesario profundizar el análisis de impactos sociales con técnicas de microsimulación.

Este estudio muestra, finalmente, la importancia de contar con coeficientes de emisión estimados a partir de fuentes nacionales, en este caso se utilizaron insumos provenientes del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). Factores de emisión así calculados reflejan mejor la estructura productiva nacional y las tecnologías usadas, por lo que, para implementar políticas ambientales focalizadas de reducción de emisiones o para compensar a sectores perdedores, esta información se torna esencial.

En conclusión, la aplicación de incentivos fiscales para la descarbonización de la economía chilena, en los niveles simulados en este trabajo tienen importantes beneficios y co-beneficios ambientales, sin presentar consecuencias negativas significativas sociales o económicas. En contra, los vaivenes en los precios internacionales de hidrocarburos y gas natural, si bien en términos de emisiones al aire, tienen implicaciones positivas a corto plazo, son costosos en términos sociales y económicos. Además dirigen la economía hacia los sectores con mayores ventajas comparativas, es decir, los recursos naturales, reprimarizándola y, a medio plazo, carbonizan la matriz energética revitiendo la reducción inicial de emisiones. Por tanto es importante fomentar políticas de señales de precios, innovación y competitividad que aumenten la eficiencia energética, la menor dependencia de hidrocarburos y el aumento en la diversificación productiva con sectores ambientalmente amigables y de mayor valor agregado.

Bibliografía

- Babiker, M., J. Reilly, M. Mayer, R. Eckaus, I. Sue Wing, and R. Hyman (2001), The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Revisions, Sensitivities, and Comparison of Results, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 71, Feb.
- Beghin, J., Dessus, S., Roland-Holst, D., & Van der Mensbrugge, D. (1996), General Equilibrium Modelling of Trade and The Environment, OECD Working Papers No. 116.
- Böhringer, C., Löschel, A. & Rutherford, T.F. (2004), Efficiency Gains from 'What' - Flexibility in Climate Policy - An Integrated CGE Assessment, ZEW Discussion Paper No. 04-48.
- Brown, D., A. Deardorff y R. Stern (1992), "A North American Free Trade Agreement: Analytical Issues and a Computational Assessment," World Economy, pp. 52-85.
- Burniaux J.-M., Martin, J.P., Nicholetti, G., Martins, J.O. (1991), GREEN: A Multi-Sector, Multi-Region General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO₂ Emissions: A Technical Manual, OECD, Economics Department Working Paper 116, París.
- Burniaux J.-M. (2002), and Truong, T. GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model, GTAP Technical Paper No, 16.
- Bussolo, M., A. Mizala y P. Romaguera (1998), "Beyond Heckscher-Ohlin: Trade and Labour Market, Interactions in a Case Study for Chile" Serie Documentos de Trabajo, FEDESARROLLO, Agosto.
- Cabezas, Mabel (2003), Tratado de Libre Comercio entre Chile y Estados Unidos: Revisión de estudios que cuantifican su impacto, Documentos de Trabajo del Banco Central de Chile, Serie No. 239, Noviembre.
- Capros, P., T. Georgakopoulos, D. Van Regemorter, S. Proost, K. Conrad, T. Schimdt, Y. Smeers, N. Ladoux, M. Vielle y P. McGregor (1995), GEM-E3, "Computable General equilibrium Model for Studying Economy-Energy-Environment Interactions", European Commission, EUR 16714 EN.

- Carriquiry, Bruno (2008), “Calidad de la estimación de las emisiones contaminantes en el modelo de equilibrio general computable ECOGEM, ¿Cuales con sus consecuencias de los efectos económicos y medioambientales predichos por el modelo?”, Tesis para optar al Grado de Magíster en Economía Aplicada y Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial.
- CEPAL (2009), “La economía del cambio climático en Chile: Síntesis”, coordinador Sebastian Vicuña, (LC/W 288), publicación de las Naciones Unidas.
- CNE (2010), Estadísticas Sector Energía en Chile 1990-2007, Comisión Nacional de Energía, Santiago.
- ___ (2009a), Balance Nacional de Energía 2008, Comisión Nacional de Energía, Ministerio de Economía, Santiago.
- ___ (2009b), Restricciones de Gas desde Argentina 2004-2009, Comisión Nacional de Energía, Información de la página web www.cne.cl/cnewww/esport/sites/default/12_Utiles/envio_gas/archivos_bajar/grafico_restricciones_2004-2009.pdf
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2008), “Plan de Acción Nacional de Cambio Climático: 2008-2012”, Santiago de Chile.
- ___ (2006), “Estrategia nacional del cambio climático”, Santiago de Chile.
- Coeymans, J.E. y Larraín, F. (1994), “Efectos de un Acuerdo de Libre Comercio entre Chile y Estados Unidos: Un Enfoque de Equilibrio General”, Cuadernos de Economía, vol.31, N° 94, pp. 357-399.
- Dessus, S. y O’Connor, D. (1999), Climate Policy without Tears: CGE-Based Ancillary Benefits Estimates for Chile, Technical Paper No. 156, OECD Development Centre, Paris, November
- Dessus, S., Roland-Holst, D. y Van der Mensbrugge, D. (1994), “Input-based pollution estimates for environmental assessment in developing countries”, Working paper N° 101, OECD.
- Galinis, A. and Van Leeuwen, M. (2000), A CGE Model for Lithuania: The Future of Nuclear Energy, Journal of Policy Modeling, Vol. 22, No. 6, 691-718.
- Goulder, L. (1993), “Energy Taxes, Traditional Efficiency Effects, and Environmental Implications,” NBER Working paper 4582.
- Harrison, G. W., Rutherford, T. F. y Tarr, D. (1997), “Trade Policy Options for Chile, A Quantitative Evaluation”, Policy Research Working Paper 1783, The World Bank, International Economics Department, International Trade Division, Junio.
- ___ (2003), Chile’s Regional Arrangements: The Importance of Market Access and lowering the tariff to six percent, Central Bank of Chile, Working Papers No. 238, Noviembre.
- Hilaire, Alvin D., y Yongzheng Yang, 2003, “The United States and the New Regionalism/Bilateralism”, IMF Working Paper 03/206 (Washington: Fondo Monetario Internacional).
- Hinojosa-Ojeda R., Lewis J. y Robinson S. (1997): “Convergence and Divergence between NAFTA, Chile, and MERCOSUR: Overcoming Dilemmas of North and South American Economic Integration”, Integration and Regional Programs Department, Inter-American Development Bank, Working Paper Series 219 (May).
- Holland, D., Figueroa E., Alvarez, R. y Gilbert, J. (2002) “Imperfect Labor Mobility, Urban Unemployment and Agricultural Trade Reforms in Chile” prepared for the Central Bank of Chile conference on General Equilibrium Models.
- Matuoka, Y., Kainuma, M. y Morita, T. (1995), Scenario analysis of global warming using the Asian Pacific Integrated Model (AIM), Energy Policy, Vol. 23, 357-371.
- McFarland, J. R., Reilly, J.M. y Herzog, H.J., (2004), Representing energy technologies in top-down economic models using bottom-up information, Energy Economics, Vol. 26, 685-707.
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente de Chile), (2011), “Segunda Comunicación Nacional del Gobierno de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.
- OCDE/CEPAL (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico/ Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2005), Evaluación del desempeño ambiental: Chile (LC/L.2305), Santiago de Chile.
- O’Ryan, R., de Miguel C., Miller S. y Pereira M. (2011), “The Socioeconomic and environmental effects of free trade agreements: a dynamic CGE analysis for Chile”, Environment and Development Economics, 16: 305–327.

- Paltsev, S., J. Reilly, H. Jacoby, R. Eckaus, J. McFarland, M. Sarofim, M. Asadoorian y M. Babiker, (2005), The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 125.
- Pigott, J., J. Whalley y J. Wigle (1992), “International Linkages and Carbon Reduction Initiatives,” in The Greening of World Trade Issues, edited by K. Anderson and R. Blackhurst, University of Michigan Press.
- Planistat (2002) “Sustainable Impact Assessment (SIA) of the trade aspects of negotiations for an Association Agreement between the European Communities and Chile (Specific agreement No 1)” Final Report October 2002.
- PROGEA (Programa de Gestión y Economía Ambiental) (2008), “Consumo de Energía y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chile 2007-2030 y Opciones de Mitigación”, Universidad de Chile.
- Rose, A., G. Schluter y A. Wiese (1995), “Motor-Fuel Taxes and Household Welfare: An Applied General Equilibrium Analysis,” *Land Economics*, 71(2):229-243.
- Rutherford, T. F., W. D. Montgomery, y P. M. Bernstein, (1997), CETM: A Dynamic General Equilibrium Model of Global Energy Markets, Carbon Dioxide Emissions and International Trade, Working Paper 97-3, University of Colorado, Boulder.
- Schuschny, A., José E. Durán y Carlos J. de Miguel (2008), Política Comercial de Chile y los TLC con Asia: Evaluación de los efectos de los TLC con Japón y China, CEPAL, Serie Estudios Económicos y Prospectivos, No. 66, LC/L.2951-P.
- ____ (2007b), El modelo GTAP y las preferencias arancelarias en América Latina y el Caribe: reconciliando su año base con la evolución reciente de la agenda de liberalización regional, ECLAC, Serie Manuales No. 53, Febrero, www.eclac.org/publicaciones/xml/7/27947/LCL-L2679-P.pdf.
- Vennemo, H. (1997), “A Dynamic Applied General Equilibrium Model with Environmental Feedbacks”, *Economic Modelling*, 14 (1), Enero, pg 77-101.
- Yang, Z., Eckaus, R. S., Ellerman, A. D. y Jacoby, H. D. (1996), The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 6, Cambridge, MA, Mayo.



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

medio ambiente y desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

144. Políticas Fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile. Carlos de Miguel, Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Bruno Carriquiry (LC/L.3434), diciembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
143. Financiamiento para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en un contexto de crisis: Indicadores para Chile. Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Carlos de Miguel (LC/L.3405), noviembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
142. Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3169-P) N° de venta: S.09.II.G.142 marzo 2010. Email: Raquel.szalachman@cepal.org
141. Gasto social en vivienda y desarrollo urbano. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3149-P), N° de venta: S.09.II.G.122, diciembre 2009. Email: Raquel.szalachman@cepal.org
140. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile. Mauricio Pereira, Andrés Ulloa, Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel (LC/L.3139-P), N° de venta: S.09.II.G.112, diciembre 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org
139. Desenvolvimento redoviario e o impacto fiscal do sistema de concessões em Brasil. Ana Paula H.Higa (LC/L.3120-P), N° de venta: P.09.11.G.99, octubre 2009. Email: Ricardo.jordan@cepal.org
138. Trade and Sustainable Development: Spatial Distribution of Trade Policies Impacts on Agriculture. Sergio Ludeña, Andrés Schuschny, Carlos de Miguel y José Durán. (LC/L.3048-P), N° de venta: E.09.II.G.50 (US\$ 10.00), junio 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org
137. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. José Javier Gómez, Joseluis Samaniego, Mariana Antonissen (LC/L.2915-P), N° de venta: S.07.II.G.49 (US\$ 10.00), julio 2008. Email: jose.gomez@cepal.org
136. Impactos económicos y sociales de *shocks* energéticos en Chile: un análisis de equilibrio general. Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira, Camilo Lagos (LC/L.2901-P), N° de venta: S.07.II.G.37 (US\$ 10.00), mayo 2008. Email: carlos.demiguel@cepal.org
135. Externalidades en proyectos urbanos: saneamiento de aguas servidas y del ferrocarril metropolitano en Santiago de Chile. Sergio Galilea, Mario Reyes, Camila Sanhueza (LC/L.2807-P), N° de venta: S.07.II.G.140 (US\$ 10.00), diciembre 2007. Email: Ricardo.jordan@cepal.org
134. Financiamiento municipal y combate contra la pobreza: ejes de análisis. Oscar Cetrángolo (LC/L.2796-P), N° de venta: S.07.II.G.130 (US\$ 10.00), noviembre 2007. Email: raquel.szalachman@cepal.org

- El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

Nombre:

Actividad:

Dirección:

Código postal, ciudad, país:

Tel.: Fax: E.mail: