

Resultados Macroeconómicos

Fase 2

Fecha: Marzo 2016

Cita sugerida: Fuentes, R. y García, G., 2016. Resultados Macroeconómicos Fase 2. Maps Chile. Ministerio del Medio Ambiente y Gobierno de Chile, Santiago, Chile.

ADVERTENCIA: La responsabilidad principal de los contenidos de este documento es del equipo profesional de MAPS Chile. No obstante lo anterior, gran parte de los temas abordados han sido analizados gracias a la activa participación de diversos actores relevantes. El Grupo de Construcción de Visión, así como los Paneles de Expertos, y el Comité Directivo del proyecto, han tenido la oportunidad de revisar estos contenidos y, en caso de discrepancias, éstas son descritas en las secciones correspondientes.

MAPS Chile

Opciones de mitigación del cambio climático para un desarrollo bajo en carbono

2011-2015

El proyecto MAPS Chile

MAPS es un acrónimo en inglés que quiere decir *Mitigation Action Plans and Scenarios*. El proyecto tiene su origen en Sudáfrica, en una iniciativa de investigación y participación de múltiples actores que investigó escenarios posibles para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) entre 2005 y 2008 y que se llamó LTMS, *Long Term Mitigation Scenarios*. Se han desarrollado proyecto MAPS en Brasil, Colombia, Perú y Chile; son iniciativas similares que cuentan con el apoyo técnico de Sudáfrica. MAPS ha buscado generar la mejor evidencia posible para informar la toma de decisiones sobre la mitigación del cambio climático y el desarrollo bajo en carbono en cada país. En particular, los proyectos MAPS han identificado y estudiado trayectorias probables -con distintos niveles de esfuerzo de mitigación-, analizado sus posibles consecuencias, y socializado esta información con actores clave. Estas iniciativas han contribuido significativamente a los respectivos países en sus procesos de negociación internacional, al amparo de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por su sigla en inglés).

MAPS Chile comenzó a fines de 2011, obedeciendo un mandato de seis ministros de Estado que requerían que el proyecto estudiara y entregara las mejores opciones que tiene el país para la mitigación de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

El proyecto ha ocurrido en tres fases. La primera, terminada a mediados de 2012, desarrolló la Línea Base de emisiones de GEI 2007-2030 (es decir, una proyección de la economía chilena situada en el año 2006 sin considerar esfuerzos para reducir emisiones de GEI, pero incluyendo la evolución tecnológica natural de los sectores económicos) y estudió además posibles trayectorias de las futuras emisiones de GEI del país que cumplan con las recomendaciones científicas que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) hace para el mundo. A esto último se le llamó “dominio requerido por la ciencia”.

La segunda fase, terminada a fines de 2014, ha incluido: la Línea Base de emisiones de GEI 2013-2030, un conjunto de cerca de 100 medidas de mitigación, 9 escenarios de mitigación –como empaquetamiento de medidas específicas de mitigación-, junto a un análisis de los efectos macroeconómicos asociados a los distintos escenarios.

La tercera y última fase de MAPS Chile ha incluido, entre otros productos, una revisión y refinamiento de los resultados obtenidos en la segunda fase, una estimación de los co-impactos asociados a las principales medidas de mitigación, y un análisis de los posibles enfoques y medidas de mitigación para el largo plazo (2030-2050). Todos los resultados de MAPS Chile están disponibles en el sitio web del proyecto.

La dirección del proyecto ha estado en manos de un Comité Directivo interministerial, en el cual han participado representantes de siete ministerios del país: Relaciones Exteriores, Hacienda, Agricultura, Minería, Transporte y Telecomunicaciones, Energía y Medio Ambiente. Desde su inicio, el proyecto convocó a un Grupo de Construcción de Escenarios (en la Fase 3 este grupo se designó Grupo de Construcción de Visión), instancia en la cual han trabajado continua y voluntariamente más de 60 personas de los sectores público, privado, académico y de la sociedad civil. Adicionalmente, más de 200 personas han sido parte de reuniones sectoriales de Grupos Técnicos de Trabajo. Con todo, se estima que más de 300 personas, incluyendo a los diversos equipos consultores de universidades y prestigiosas instituciones del país, han participado activamente en MAPS Chile. El financiamiento para la realización de MAPS Chile ha provenido de Children Investment Fund Foundation (CIFF), la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), los gobiernos de Suiza, Dinamarca y Chile, y ha totalizado cerca de 4 millones de dólares para los más de 4 años de trabajo.

Índice de contenidos

Resultados Macroeconómicos Fase 2

A.	Resumen Ejecutivo	6
B.	El enfoque de modelación de largo plazo	8
C.	Línea Base 2013 - 2030	9
1.	Supuestos macroeconómicos clave	9
1.1.	Población	9
1.2.	PIB	10
1.3.	Tipo de cambio nominal	11
1.4.	Tasa de interés nominal.....	12
1.5.	Criterio de proyección población regional	12
1.6.	Criterio de proyección PIB regional.....	12
D.	Modelo Macroeconómico.....	13
1.	Descripción general del modelo	13
1.1.	Hogares.....	14
1.2.	Firmas	14
1.2.1.	Estructura de la producción	15
1.2.2.	Sector de generación de electricidad	15
1.2.3.	Sector de las materias primas	15
1.3.	Gobierno.....	15
1.4.	Vínculos entre los modelos sectoriales y la estructura del modelo MEMO II	15
2.	Marco de trabajo modelo MEMO II.....	16
2.1.	Solución del modelo.....	17
2.2.	Calibración del modelo.....	17
2.3.	Simulación de la Línea Base 2013	18
2.3.1.	Metodología.....	18
2.3.2.	Construcción de los datos.....	19
2.4.	Simulación de escenarios de mitigación.....	20
2.4.1.	Metodología.....	20
2.4.2.	Construcción de los datos.....	22
2.5.	Interpretación de emisiones del modelo macroeconómico.....	22
3.	Resultados de escenarios	23
3.1.	Impuesto al carbono	24
3.2.	Escenario esfuerzo base	28
3.3.	Escenario esfuerzo alto	31
E.	Conclusiones	35
F.	Anexos	36
1.	Anexo 1 - Parámetros del modelo macroeconómico	36
1.1.	Proyección de la población	36
1.2.	Proyección de la tasa de crecimiento del PIB	38
1.3.	Proyección del tipo de cambio nominal	39

1.4. Proyección de la tasa de interés nominal.....	41
1.5. Proyección del PIB regional	42
2. Anexo 2 - Resultados del modelo macroeconómico	44
2.1. Escenario eficiencia energética.....	44
2.2. Resultados agregados escenario medio	46
2.3. Resultados sectoriales escenario medio	48
2.4. Resultados agregados escenario 80-20	49
2.5. Resultados sectoriales escenario 80-20	50
2.6. Resultados agregados escenario ERNC	51
2.7. Resultados sectoriales escenario ERNC.....	52
2.8. Resultados agregados escenario energías renovables.....	53
2.9. Resultados sectoriales escenario energías renovables	54
2.10. Resultados agregados impuesto al carbono: US\$10, US\$40 y US\$50.....	56
G. Referencias	57

A. Resumen Ejecutivo

MAPS Chile, gracias a la contribución y cooperación del Ministerio de Hacienda, contrató y trabajó directamente con un equipo de consultores del Instituto de Investigación Estructural (IBS) de Varsovia, Polonia. El equipo de MAPS Chile y la contraparte del Ministerio de Hacienda colaboraron estrechamente con los consultores polacos en el desarrollo de un modelo de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés), utilizado para evaluar los impactos de equilibrio general - sobre el conjunto de la economía, considerando la interacción entre los diversos sectores analizados en el proyecto- respecto de las emisiones agregadas y los indicadores macroeconómicos (PIB, empleo, salarios, etc.). El modelo fue alimentado con insumos como la Línea Base de emisiones de GEI nacional 2013-2030, las líneas base sectoriales, los gastos en capital (CAPEX) y en operación (OPEX) de cada una de las medidas de mitigación que conforman los distintos escenarios.

La estructura del modelo es la de una economía pequeña y abierta dividida en tres grandes bloques: los hogares, las firmas y el Gobierno. Las firmas a su vez se presentan en una desagregación de 10 sectores productivos. Las interrelaciones entre estos agentes son especificadas utilizando la información de la matriz insumo producto de la economía chilena. El contexto de equilibrio general desarrollado permite estimar los impactos macroeconómicos y sobre emisiones de CO₂ considerando la interacción simultánea que existe entre los distintos agentes de la economía cuando se implementa un escenario de mitigación.

A diferencia de los enfoques que tradicionalmente se vienen utilizando en el análisis de la mitigación del cambio climático (por ejemplo las curvas MAC, curvas de costo de abatimiento marginal, por sus siglas en inglés), el modelo DSGE desarrollado, permite ver las dinámicas temporales causadas por la implementación de medidas de mitigación en los sectores y en la economía como un todo.

Un resumen de los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de efectos macroeconómicos y emisiones según escenario (los valores señalados corresponden a desviaciones respecto a Línea Base 2013-2030, %). Fuente: MAPS Chile, 2014.

Escenario	PIB		Empleo		Reducción de emisiones	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Impuesto al carbono (5 US\$)	-0,5%	-0,5%	-0,4%	-0,4%	-3,1%	-3,4%
Impuesto al carbono (20 US\$)	-1,8%	-1,8%	-1,5%	-1,6%	-12,3%	-13,5%
Base	0,1%	4,1%	-0,1%	3,5%	-8,2%	-9,3%
Medio	-0,3%	6,7%	-0,7%	5,5%	-10,9%	-23,4%
Alto	-0,1%	7,4%	-0,2%	6,3%	-12,2%	-26,2%
Eficiencia energética	-0,6%	3,3%	-0,8%	2,6%	-4,2%	-6,2%
ERNC	0,0%	0,6%	0,3%	-0,2%	-3,8%	-9,1%
Energías renovables	-0,1%	0,7%	0,3%	-0,2%	-4,1%	-15,2%
80/20	0,2%	1,2%	-0,3%	0,0%	-9,9%	-18,8%

*Las estimaciones presentes en la tabla corresponden al PIB valorado a precios de mercados, que incorpora el alza de precios como resultado de la imposición del impuesto al carbono. El mismo cálculo hecho para precios sin impuestos, como aproximación a la actividad económica medida en cuentas nacionales, resulta en desviaciones al 2030 de -0,5% y -1,8% para impuestos de US\$ 5 y US\$ 20, respectivamente.

Al respecto, se puede destacar:

- Se debe hacer notar que el ejercicio de impuesto al carbono desarrollado en este trabajo difiere del que ha sido incluido en la reforma tributaria. En el caso de MAPS Chile, aplica el impuesto al carbono a todas las fuentes de emisiones de la economía sin distinción, mientras que el diseñado para la reforma tributaria solo grava a ciertas fuentes de emisiones. Adicionalmente, en el modelo la recaudación fiscal se transfiere directamente a los hogares a suma alzada con el objetivo de evaluar el impacto del impuesto sin efectos adicionales, como podría ser una política complementaria que destine los fondos recaudados a algún fin específico.

Existen diferencias en las reducciones de emisiones estimadas por los modelos sectoriales y aquellas que resultan del modelo DSGE. En particular, para los escenarios que involucran una ganancia en eficiencia energética, el efecto de equilibrio general hace que las reducciones en emisiones estimadas en el DSGE sean menores que en los sectoriales, ya que las ganancias en eficiencias se traducen en mayor actividad económica y mayores emisiones. Por el contrario, el macroeconómico estima una mayor reducción de emisiones en el escenario de un impuesto al carbono. La razón descansa en dos elementos: a) el impuesto se impone a toda la economía y no solamente al sector eléctrico como en el análisis sectorial; b) los efectos de equilibrio general provocan una rebaja adicional de las emisiones.

- En el corto plazo (2020), se observa un impacto negativo no significativo en el empleo y en la producción en casi todos los escenarios, con la excepción del impuesto al carbono.
- Los escenarios de mitigación son costo efectivos al 2030, en el sentido que se verifica un aumento del PIB y de los niveles de empleo, excepto en el escenario de impuesto al carbono.

B. El enfoque de modelación de largo plazo

El largo plazo

El análisis llevado a cabo por MAPS Chile se centra en el largo plazo, al 2030. Con ello, los supuestos realizados para cada variable utilizada como insumo de los modelos sectoriales y del modelo macroeconómico corresponden a valores que se estiman al largo plazo. Es así como en cuanto al crecimiento del PIB se adoptó el supuesto de que la tasa de crecimiento de largo plazo (2% + la tasa de crecimiento de la población) se alcanzará una vez que la economía chilena alcance el PIB per cápita de España o el 70% del PIB de Estados Unidos. En la transición, la tasa de crecimiento irá disminuyendo en la medida que converja a ese estado estacionario (año 2045).¹

La trayectoria de las variables en el escenario llamado Línea Base fueron proyectadas con la mejor información con que se contaba al 2013 y sometidas a la aprobación del Comité Directivo y del Grupo de Construcción de Escenarios del proyecto. La orientación siempre fue pensando en el largo plazo.

La lógica de los estudios sectoriales y su relación con el modelo macroeconómico

Es muy importante hacer notar cómo funciona la lógica de los estudios sectoriales y del modelo macroeconómico. Las proyecciones de variables como el PIB, tipo de cambio y precio de combustibles son utilizadas como datos de entrada por los modelos sectoriales.

Estos modelos de equilibrio parcial, hechos para 10 sectores económicos, tienen como objetivo estimar las emisiones de CO₂ de línea base, como también evaluar las reducciones de CO₂ para cada escenario de mitigación y los CAPEX (Gastos de Capital) y OPEX (Gastos Operacionales) asociados a ellos. Luego, el modelo macroeconómico simula cada escenario de mitigación utilizando esta información de reducción de emisiones, CAPEX y OPEX. Debido a los efectos de equilibrio general, como resultados de la simulación se obtienen desviaciones de las emisiones de CO₂, del PIB y de otras variables macroeconómicas, respecto a los valores de línea base.

Las proyecciones de PIB, precio de combustibles y tipo de cambio son relevantes para los resultados debido a que son insumos utilizados para la estimación de los CAPEX y OPEX, los que a su vez son los datos de entrada para la simulación de los escenarios en el modelo macroeconómico. De estas tres variables proyectadas, el PIB y el tipo de cambio tienen efectos menores en las estimaciones, mientras que el precio de los combustibles influye significativamente en la estimación del OPEX. Esto último se debe a que los ahorros registrados en los OPEX se deben principalmente a la reducción de uso de combustibles fósiles.

En síntesis, los parámetros y decisiones de modelación del proyecto se han concentrado en el mediano y largo plazo y han sido discutidos en distintas instancias participativas.

¹ Para mayor detalle ver páginas 32-34 del documento completo de resultados de Fase 2 (http://mapschile.cl/files/Resultados_de_Fase_2_mapschile_2910.pdf).

C. Línea Base 2013 - 2030

1. Supuestos macroeconómicos clave

La Línea Base 2013-2030 se construye a partir del estudio de siete sectores que son los más relevantes en términos de emisión y captura de gases de efecto invernadero. Por tratarse de la Línea Base 2013-2030, las proyecciones se realizan condicionales al conjunto de información disponible al momento de aprobación de los informes de avance de los sectores específicos y en coordinación con los equipos de consultores respectivos.

Los sectores considerados son: 1) generación y transporte de electricidad, 2) industria y minería, 3) transporte y urbanismo, 4) comercial, residencial y público, 5) agropecuario y cambio de uso de suelo, 6) forestal y cambio de uso de suelo y 7) residuos antrópicos. Para cada uno de estos sectores se construye un modelo que representa las condiciones de operación al 2013 y que entrega como resultado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para estos efectos, cada modelo debe proyectar las variables determinantes de las emisiones de GEI en el horizonte de tiempo del estudio. Posteriormente, cada modelo debe ser capaz además de analizar las distintas medidas de mitigación pertinentes a su sector.

Con el fin de calcular las emisiones de GEI, los sectores requieren proyectar la trayectoria de una serie de variables agregadas. Estas entran en el modelo en forma exógena y por ser comunes a todos los sectores, sus proyecciones fueron aprobadas previamente por el Comité Directivo para el periodo 2013-2050, como resultado del proceso participativo del proyecto MAPS Chile. En concreto, dentro de las proyecciones se cuenta con un escenario oficial de crecimiento de la población, del PIB, de evolución del tipo de cambio nominal y real, además de escenarios de precios de combustibles, los cuales son coherentes con los macroeconómicos tal como se proyectaba a comienzos de 2013. Los valores de los datos proyectados se encuentran disponibles en el Anexo 1 de este informe.

1.1. Población

La tasa de crecimiento de la población es un determinante clave en las demandas de los distintos sectores. El escenario de crecimiento de la población que se utilizó en los estudios proviene de las proyecciones oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas de Chile². Estas consideran para el año 2013 una tasa de avance anual de 0,89%, la cual va decreciendo en el tiempo, pasando por 0,74% el año 2020, 0,47% el año 2030, hasta alcanzar 0,01% el año 2050. Cabe notar que estas proyecciones no consideraron la información del Censo 2012, puesto que fue publicada fuera de los plazos para recabar información dentro del marco del proyecto.

² "CHILE: Proyecciones y Estimaciones de Población. Total País. 1950-2050", Instituto Nacional de Estadísticas: Cifras de población estimada para 1950-2050, apoyándose en los resultados de los censos de 1952 hasta el del 2002 y los registros de hechos vitales, mediante el "método demográfico de los componentes". "Chile: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo y Edad. Regiones 1990-2020", Instituto Nacional de Estadísticas: Estadísticas Demográficas y vitales "Proyección de Población" Descargar en: (http://www.ine.cl/canales/menu/indice_tematico.php).

1.2. PIB

La proyección de la tasa de crecimiento del PIB para los años 2013-2050 se construyó en base a una serie de criterios que dan origen a 3 escenarios: Bajo, Medio y Alto.

El Escenario Medio se construye inicialmente a partir de las proyecciones de corto plazo del Ministerio de Hacienda y una continuación de la tendencia de crecimiento del PIB real, como se detalla a continuación:

- 2013-2017: tasas de crecimiento obtenidas desde las proyecciones de corto plazo del Ministerio de Hacienda.
- 2018-2050: continuación de las proyecciones de la tasa de crecimiento a tasas decrecientes, consistentes con el criterio de convergencia del modelo neoclásico de crecimiento económico. Específicamente esto significa:
 - 2018-2028: la tasa de crecimiento del PIB decrece anualmente un 0,1%.
 - 2029-2050: la tasa de crecimiento del PIB decrece anualmente un 0,05%.

Los escenarios Bajo y Alto se construyen a partir del escenario Medio sumando y restando 50 puntos base a la tasa de crecimiento. Estos intervalos corresponden a los límites dados por las desviaciones estándar de la proyección central, obtenida de la desviación estándar de la tasa de crecimiento del PIB a lo largo de los últimos 20 años.

El criterio de convergencia postula que el crecimiento de las economías ocurre a tasas decrecientes en el tiempo, hasta llegar a un desarrollo constante en el estado estacionario.

Con el fin de realizar un análisis de convergencia para la economía chilena es necesario conocer cuál es su tasa de crecimiento de estado estacionario, para lo cual se supone que la economía chilena alcanza al nivel del ingreso per cápita de España, que corresponde aproximadamente al 70% del ingreso per cápita de Estados Unidos. Cuando Chile llegue al nivel de ingreso per cápita de estado estacionario, se supone que crecerá a la tasa de largo plazo de la nación norteamericana.

La comparación del PIB chileno con el de otras economías se realiza en términos del PIB per cápita a PPC (paridad de poder de compra), utilizando la proyección oficial del INE respecto del crecimiento anual de la población de Chile hasta 2050, y realizando un ajuste para mantener la paridad del poder de compra en el tiempo.

Los resultados obtenidos de las proyecciones de PIB real per cápita a PPC muestran que, en el escenario de crecimiento Alto, Chile sería capaz de alcanzar la tendencia de España en el año 2030 y la de Estados Unidos en el 2037.

En el Medio, Chile conseguiría la tendencia de España en el año 2033, mientras que ello ocurriría en el año 2045, en la comparación respecto de Estados Unidos.

Finalmente, la convergencia en el escenario Bajo se daría en el año 2039 en la relación con España y posterior al año 2050 si se considera a Estados Unidos. Las diferencias entre ambas comparaciones se deben principalmente a las distintas tasas de crecimiento que poseen las economías.

Considerando la convergencia a la economía de Estados Unidos, la chilena alcanza un crecimiento de estado estacionario a partir del año 2037 y 2045 en el escenario Alto y Medio, respectivamente. Esto implica que a partir de ese año, la tasa de crecimiento del PIB real sería igual a un 2% más el alza de la población proyectada. Estos quiebres en las proyecciones de crecimiento del PIB real generan

distorsiones en las proyecciones de emisiones y producto de los sectores, induciendo cambios bruscos en las tasas de emisiones. Para atenuar este efecto se utiliza una ventana de promedios móviles para suavizar la trayectoria hacia la convergencia.

Luego de este último ajuste se pueden obtener las proyecciones de PIB real para Chile, para los tres escenarios, que consideran una trayectoria decreciente de la tasa de crecimiento. En 2020 la tasa de avance del PIB real es de un 3,7%, 4,2% y 4,7% para cada escenario, mientras que en 2030 se eleva a 2,8%, 3,3% y 3,8% respectivamente.

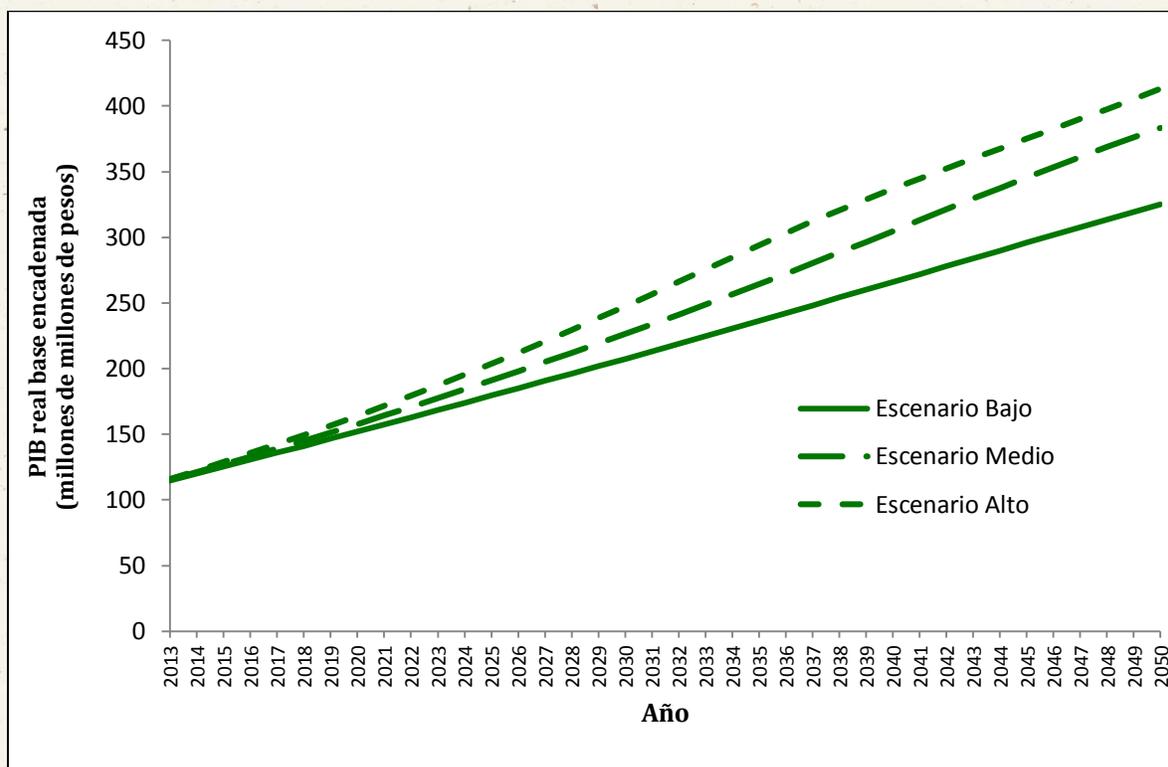


Figura 1: Escenarios de PIB real considerados para proyectar la Línea Base 2013-2030. Fuente: Proyecto MAPS Chile. Fase 2, 2014

1.3. Tipo de cambio nominal

La proyección del tipo de cambio nominal, desarrollada por el Ministerio de Hacienda, se realiza en base a la proyección del tipo de cambio real de equilibrio, el cual a su vez es proyectado de manera coherente con las proyecciones de PIB. Utilizando el tipo de cambio real y considerando el diferencial entre la inflación doméstica (3% según la meta inflacionaria) y la inflación externa (2% en Estados Unidos), se obtienen las proyecciones del tipo de cambio nominal. Esta metodología deriva un valor de equilibrio del tipo de cambio nominal asociado a cada uno de los escenarios de proyecciones de crecimiento del PIB.

1.4. Tasa de interés nominal

Se proyecta la tasa de interés para cada escenario de PIB. La metodología se basa en la aplicación de la condición de paridad de tasas de interés, utilizando la proyección de tipo de cambio y una tasa de interés internacional exógena. Esta proyección también ha sido elaborada por el Ministerio de Hacienda.

1.5. Criterio de proyección población regional

Para proyectar la población regional se utilizaron las cifras oficiales de la regional del Instituto Nacional de Estadística hasta el año 2020³. Desde el 2021 en adelante se consideró que se mantiene constante el porcentaje de cada región sobre la población total al año 2020, puesto que no existían más antecedentes oficiales.

1.6. Criterio de proyección PIB regional

Para proyectar el PIB regional se utilizó una base de datos de PIB regional empalmados desde 1960 hasta 2011, a precios del año 1996. Esta fue construida a partir de una base publicada en un estudio de Ministerio de Planificación y Cooperación (Mideplan) para los años 1960 a 2001, y datos del Banco Central de Chile desde 2002 hasta 2011⁴.

Con los datos mencionados se realizaron estimaciones econométricas región por región que permiten proyectar los porcentajes de participación de cada PIB regional sobre el total del país. A partir de esas proyecciones se ajustan los porcentajes para que el total sume 100%. Este es un ajuste de escala bastante menor, que implica cambios muy pequeños puesto que en las proyecciones (sin ajustar), el total de participación de las regiones suma alrededor de 97,6% al 2050.

³ "CHILE: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo y Edad. Regiones 1990-2020", Instituto Nacional de Estadísticas: Estadísticas Demográficas y Vitales "Proyecciones de Población" Descargar en: (http://www.ine.cl/canales/menu/indice_tematico.php).

⁴ Datos publicados en el estudio de Mideplan "Empalme series de PIB regionales 1960-2001, base 1996" y del Banco Central de Chile (www.bcentral.cl). (<http://www.mideplan.cl/cgi-bin/btca/WXIS?IsisScript=../xis/plus.xis&mf=007415&base=Biblo>)

D. Modelo Macroeconómico

Este capítulo se compone de tres secciones principales. La primera incluye una breve descripción del modelo MEMO II para Chile, a partir del informe final emitido por el IBS para el proyecto MAPS Chile [IBS, 2014]. La sección dos presenta la construcción del modelo y los procedimientos de simulación para la Línea Base y los escenarios. Finalmente, la sección tres presenta los resultados y análisis alcanzados por el modelo para los distintos escenarios.

1. Descripción general del modelo

MEMO II es un modelo de equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE) multisectorial de gran escala, desarrollado con el propósito de evaluar políticas de reducción de CO₂. En particular, el modelo fue construido para proyectar las emisiones de gases de efecto invernadero y las variables macroeconómicas para Chile a nivel nacional para el Escenario de Línea Base 2013 (LB2013) y los de mitigación construidos dentro del proyecto MAPS Chile.

El modelo permite simular el impacto de la implementación de escenarios de mitigación sobre diversas variables, entre las que podemos encontrar: el producto interno bruto (PIB) tanto en nivel como en crecimiento y sobre sus componentes (inversión, consumo, exportaciones netas, consumo público); valor agregado total y sectorial; demanda de energía y emisiones de CO₂; desempleo, empleo y salarios; balance fiscal; tipo de cambio real, exportaciones e importaciones.

La estructura del modelo es la de una economía pequeña y abierta dividida en tres grandes bloques: los hogares, las firmas y el Gobierno. Estos bloques están interconectados en tres mercados distintos: el mercado del trabajo, el del capital y el de los bienes. La figura siguiente presenta un esquema de cómo interactúan los distintos agentes.

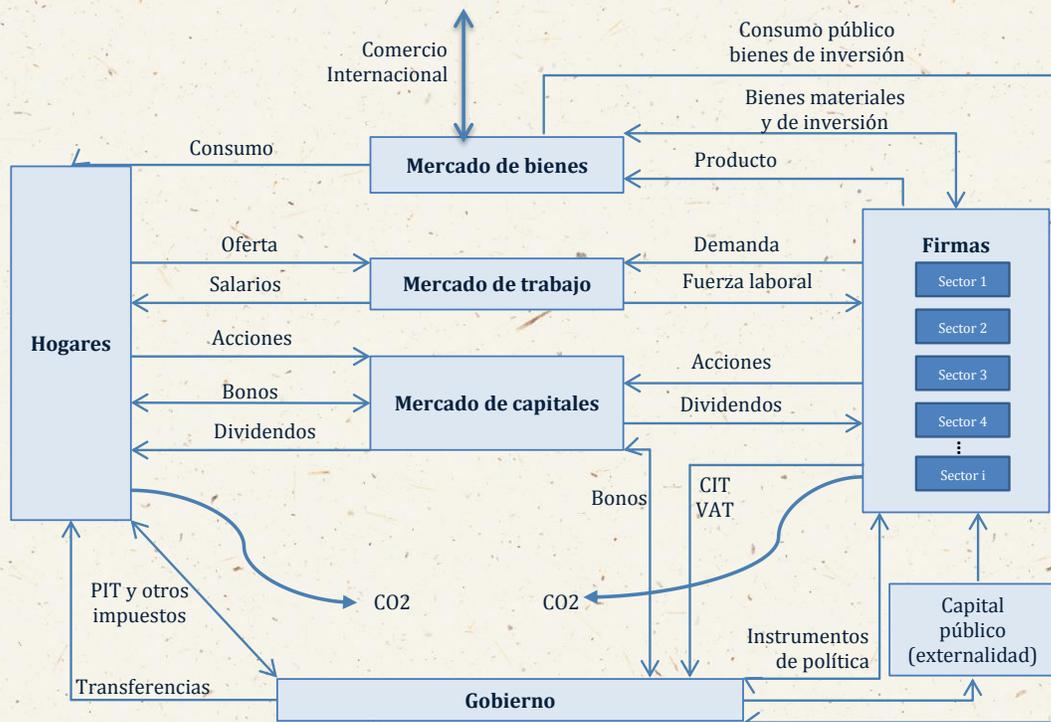


Figura 2: Relaciones entre los agentes económicos en el modelo macroeconómico

Las interrelaciones entre sectores se grafican en la matriz insumo producto. Esto permite una representación realista de las interrelaciones entre todos los sectores, así como contabilizar las distintas fuentes de emisiones de GEI. El modelo se calibra directamente con los datos de la economía chilena utilizando la matriz del año 2003. Si bien existe información disponible de matriz insumo producto para el año 2008, esta no es utilizable dado que el modelo MEMO II requiere la información abierta por estructura doméstica e importada, desagregación hecha por la OECD y cuya última versión disponible es para los datos del 2003.

1.1. Hogares

Los hogares ofrecen trabajo a las firmas a cambio de un salario, deciden el nivel de su demanda de bienes de consumo y también de activos financieros (bonos públicos y las acciones de las firmas). Interactúan con las firmas en el mercado del trabajo, donde se negocian los salarios y se cubren las vacantes en un proceso de búsqueda y *matching*. A cambio de su trabajo y sus ahorros, reciben dividendos y salarios por parte de las firmas y el pago de intereses por la tenencia de bonos por parte del Gobierno, en tanto deben pagar los impuestos a la renta, al valor agregado y otros específicos. Los hogares emiten CO₂ debido al consumo de combustibles.

1.2. Firms

Las firmas producen bienes finales que luego son consumidos por los hogares y el Gobierno, reinvertidos por los productores, o utilizados por otras firmas como insumos intermedios en función de las relaciones establecidas por la matriz de insumo-producto. La producción emite CO₂ derivado del consumo de combustibles y procesos químicos distintos de la combustión. En el proceso de producción, las firmas

emplean mano de obra, capital, bienes intermedios y energía. Los bienes intermedios (insumos) corresponden a los combustibles y los originados por las otras firmas, así como su propia producción. A medida que son dueños del capital y tienen cierto poder monopolístico, sus beneficios son positivos, lo que les permite pagar dividendos a sus accionistas. Adicionalmente, ellos costean impuestos a la renta, al valor agregado y otros gravámenes específicos.

1.2.1. Estructura de la producción

Hay 10 sectores principales en el modelo los cuales producen bienes básicos:

- | | |
|---|--|
| (1) la agricultura y la silvicultura (AGR) | (6) servicios de comercio al por menor y enteros (TRD) |
| (2) las materias primas de producción (RMP) | (7) los servicios de mercado (SRV) |
| (3) de la industria y la manufactura (IND) | (8) servicios de transporte (TRN) |
| (4) la producción de energía (ENG) * | (9) servicios financieros (FIN) |
| (5) servicios de construcción (CST) | (10) servicios públicos (PUB) |

* ENG : electricidad.

1.2.2. Sector de generación de electricidad

Suponemos que la electricidad se produce a partir de cuatro diferentes tipos de tecnologías: energía hidroeléctrica, carbón, petróleo gas y energías renovables. Cada tipo de electricidad se supone que es producida por un sector individual con una estructura interna y luego se suman asumiendo sustitución perfecta. Es importante notar que, además de los diez sectores económicos hay dos fuentes adicionales de demanda de energía: los hogares y el Gobierno. En Chile el sector eléctrico cuenta con aproximadamente 13 diferentes tecnologías disponibles de generación, cada una de las cuales es clasificada en una de las cuatro tecnologías incluidas en el modelo MEMO II.

1.2.3. Sector de las materias primas

El sector de las materias primas se compone de carbón, gas, petróleo y cobre. Este último se construye como un sector independiente con el fin de modelar el sector minero, de gran importancia para la economía chilena. En ella se consumen siete grandes tipos de combustibles fósiles diferentes, los que son clasificados dentro de las categorías del modelo MEMO II como se explica en la sección D.1.4.

1.3. Gobierno

El Gobierno devenga un ingreso fiscal por el impuesto al valor agregado sobre el consumo de bienes (IVA), el gravamen a la renta del trabajo (PIT), el que se aplica a los ingresos corporativos de las firmas (CIT), los especiales (EXC) y otros como a las emisiones de CO₂ (τ CO₂). El gasto público se divide en la inversión pública, el consumo público y las transferencias sociales a los hogares.

1.4. Vínculos entre los modelos sectoriales y la estructura del modelo MEMO II

La figura siguiente muestra cómo se vinculan los modelos sectoriales con el modelo MEMO II.

La figura (a) presenta la forma en que se relacionan los modelos sectoriales con la estructura productiva del modelo macroeconómico, determinando los flujos de información. Por su parte, la (b) grafica la clasificación que se hace para los combustibles fósiles dentro del modelo MEMO II.

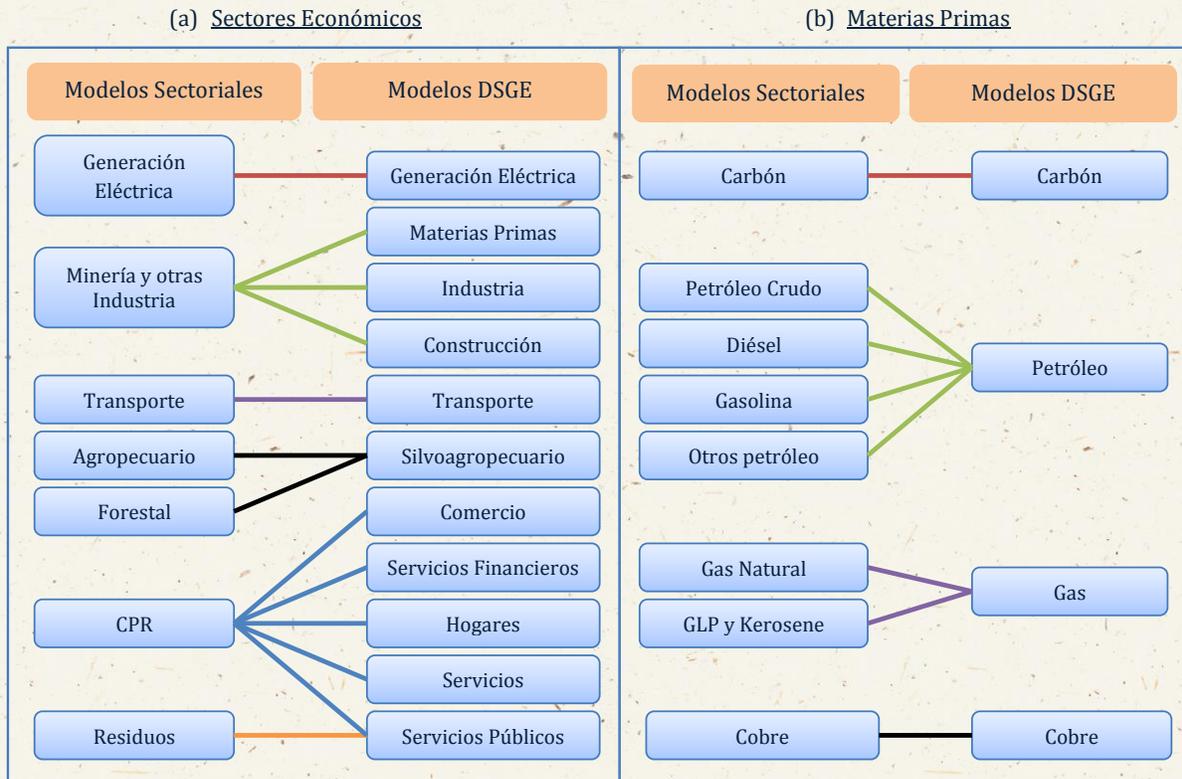


Figura 3: Relaciones entre modelos sectoriales y estructura de producción del modelo DSGE

Algunas consideraciones importantes de los sectores dentro del modelo macroeconómico que se deben tomar en cuenta.

La primera es el hecho de que el sector materias primas se compone de carbón, gas, petróleo y cobre. Este último se incluye específicamente debido a la importancia para Chile. Los distintos tipos de combustibles se contabilizan en carbón, petróleo o gas según la clasificación mostrada en la gráfica.

La segunda es el supuesto de que la electricidad se produce a partir de cuatro diferentes tipos de tecnologías: energía hidroeléctrica, carbón, petróleo-gas y energías renovables. Existe una empresa que vende electricidad en el mercado, agregando cada tipo de electricidad suponiendo sustitución perfecta entre las fuentes. En Chile el sector eléctrico cuenta con aproximadamente trece diferentes tecnologías disponibles de generación, cada una de las cuales es clasificada en una de las cuatro incluidas en el modelo MEMO II.

2. Marco de trabajo modelo MEMO II

La metodología de construcción y funcionamiento del modelo MEMO II se puede explicar en cuatro etapas secuenciales: la búsqueda de la solución del modelo, su calibración, la simulación de Línea de Base 2013, y la de escenarios. La figura siguiente muestra el marco de trabajo para el modelo. En lo que sigue, esta sección busca dar entendimiento general para cada una de estas etapas.

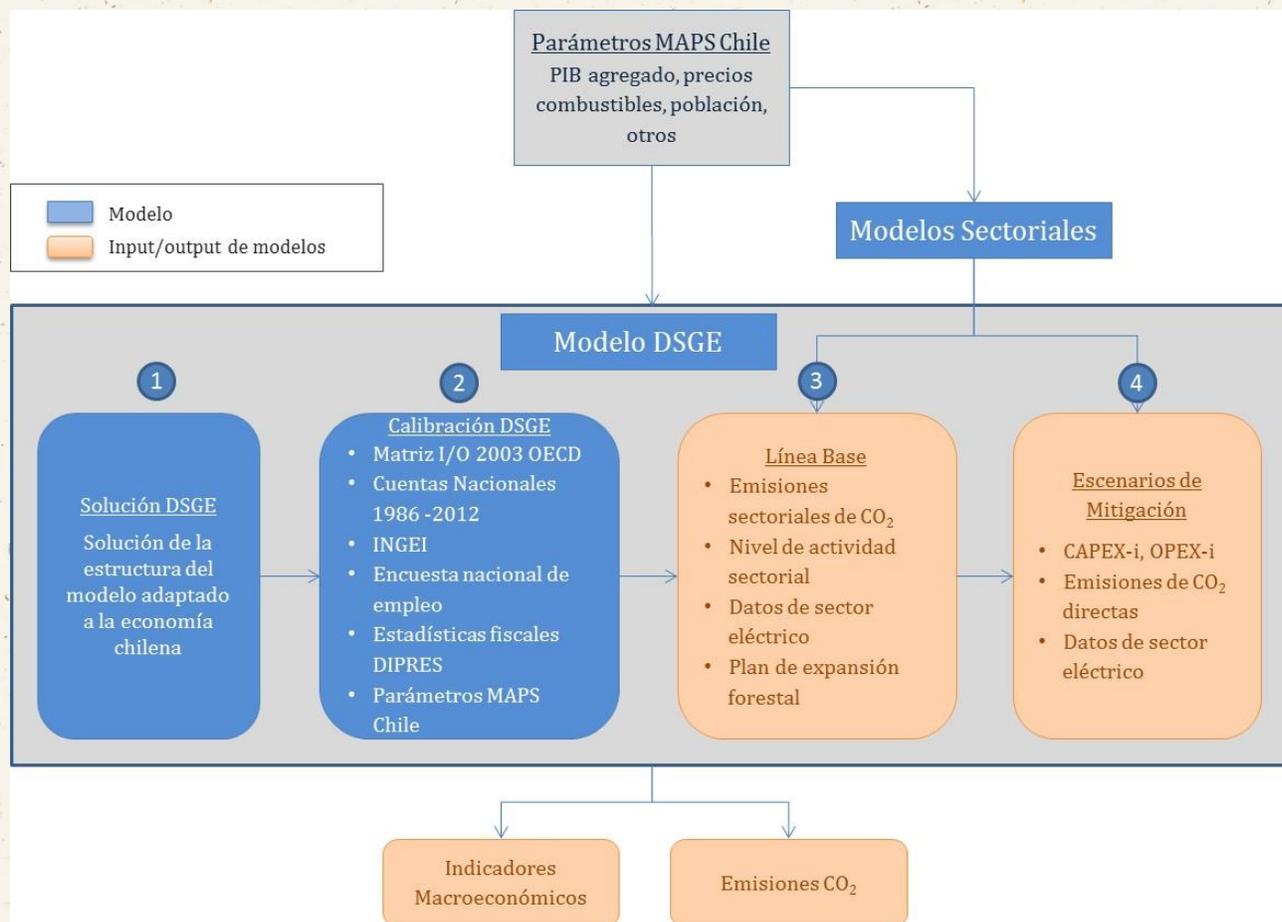


Figura 4: Marco de trabajo del modelo MEMO II

2.1. Solución del modelo

La estructura del modelo es adaptada a las características estructurales de la economía chilena. En este proceso destaca la introducción de los sectores de minería y forestal, el sistema de pensiones y la regla fiscal.

El modelo se resuelve utilizando el lenguaje Forma⁵, encontrando la solución general del sistema linealizada en torno al estado estacionario. El estado estacionario se define como el punto de equilibrio donde la economía alcanza una tasa de crecimiento constante, o dicho de otra manera, donde alcanza una situación de equilibrio de largo plazo.

2.2. Calibración del modelo

Luego de haber encontrado la solución general del modelo se procede a su calibración utilizando datos de la economía chilena. Siguiendo la metodología de la literatura de DSGE, los parámetros pueden ser

⁵ Lenguaje de algoritmos eficientes utilizado para construir modelos DSGE de gran escala en el ambiente de MATLAB. Este lenguaje fue desarrollado por Pawel Kowal en el "Institute of Structural Research of Warsaw, Poland".

divididos en tres clases: (i) los que determinan los valores de estado estacionario de ciertas variables (calibradores), (ii) los estructurales que consideran las propiedades de las tecnologías de producción (elasticidades de sustitución) y relaciones de preferencia de los hogares (aversión al riesgo y tasa de descuento subjetiva), (iii) los que se refieren a la forma exacta de los shocks estocásticos exógenos utilizados para replicar los comportamientos cíclicos de la economía.

Entre los parámetros de la primera clase destacan aquellos que establecen las interrelaciones entre los distintos sectores de la economía. Estos son calibrados utilizando la matriz insumo producto, que entrega información sobre las relaciones de usos de bienes intermedios y finales entre los distintos sectores de la economía. Este procedimiento es una aproximación estática debido a que usa la información de un año particular para la calibración, siendo en este caso la matriz insumo producto del 2003. Si bien existe información disponible para el año 2008, esta no es utilizable dado que el modelo MEMO II requiere la información abierta por estructura doméstica e importada, desagregación hecha por la OECD y cuya última versión es para los datos del 2003. En esta primera clase de parámetros también se encuentra la intensidad de emisiones de CO₂ para los distintos sectores de la economía, los que son calibrados para sus valores de estado estacionario con la información de consumo de combustibles fósiles entregada por MAPS Chile. Como se explica más adelante en este capítulo, en las simulaciones de la Línea Base y posteriormente de los escenarios, los parámetros de las interrelaciones entre sectores y de intensidad de emisiones de CO₂ son modificados con la nueva información introducida al modelo. Esta nueva información exógena es la que es provista por los modelos sectoriales de MAPS Chile.

En la segunda clase de parámetros se encuentran aquellos que determinan las propiedades dinámicas del modelo. Entre ellos se encuentran las elasticidades de sustitución de las funciones de producción de cada sector, y los parámetros de aversión al riesgo y preferencias temporales que se encuentran en la función de utilidad intertemporal de los hogares.

Finalmente, la tercera clase comprende a los que dan la estructura a los shocks utilizados para intentar replicar los ciclos de la economía. Se consideran shocks tecnológicos, de demanda externa y de gasto público, que son modelados bajo un proceso autorregresivo de orden 1, cuyos parámetros son estimados por el Método Generalizado de Momentos de manera de ajustar el modelo de la mejor forma posible a los datos empíricos.

2.3. Simulación de la Línea Base 2013

2.3.1. Metodología

Habiendo calibrado el modelo, el siguiente paso corresponde a la simulación de la Línea Base. Se habla de simulación porque la manera de introducir la información exógena de Línea Base al modelo MEMO II es mediante el uso de shocks de manera tal de replicar la información entregada de manera exacta en el modelo. La información de Línea Base que es provista de manera exógena al modelo para el periodo 2013-2050, suministrada por MAPS Chile y los modelos sectoriales, corresponde a:

Entregada por MAPS Chile:

- Trayectoria del PIB nacional (tasas de crecimiento).
- Tasa de empleo nacional.

Entregada por modelos sectoriales:

- Trayectoria del PIB sectorial.
- Plan de expansión generación eléctrica (modelo eléctrico).
- Generación eléctrica (modelo eléctrico).
- Emisiones de CO₂ de los diferentes sectores y hogares.
- Demanda por derivados del petróleo de los diferentes sectores y hogares.
- Demanda por gas de los diferentes sectores y hogares.
- Demanda por carbón de los diferentes sectores y hogares.
- Demanda por electricidad de los diferentes sectores y hogares.

Para la simulación de la Línea Base 2013-2050, toda esta información proporcionada exógenamente por MAPS Chile y por los modelos sectoriales es replicada en el modelo MEMO II. El crecimiento del PIB nacional y su estructura sectorial, son simulados utilizando shocks de largo plazo con parámetros de autocorrelación cercanos a uno. Esto garantiza que en cada periodo los agentes económicos esperen un incremento en el nivel de tecnología. Se asume que los shocks de largo plazo incrementan la productividad laboral, asegurando que el empleo permanezca estable en la simulación. De manera general, en este procedimiento se debe cuidar que el modelo exhiba buenas propiedades de crecimiento en el largo plazo, en el sentido de que todas las variables modeladas presenten estabilidad con respecto al crecimiento del PIB. Esto permite mantener las buenas propiedades de ajuste del modelo. Respecto al resto de la información exógena, es replicada en el modelo utilizando como instrumentos shocks particulares especificados en las tecnologías de producción de los sectores económicos o de los hogares. Estos shocks pueden ser interpretados como cambios en el consumo de combustibles, en la intensidad de emisiones de CO₂ o como mejoras de productividad (eficiencia energética).

Bajo este procedimiento, el modelo logra replicar de manera exacta la trayectoria del crecimiento económico agregado y sectorial, de las variables macroeconómicas de cuentas nacionales, de la demanda nacional de electricidad; y las emisiones de CO₂ agregadas y sectoriales. Esto significa, por ejemplo, que se incorporan a la Línea Base mejoras tecnológicas en las funciones de producción (eficiencia energética) y posibles cambios en los factores de intensidad de emisiones de CO₂ acorde con los supuestos utilizados en los modelos sectoriales. La metodología utilizada para replicar esta información exógena en el modelo DSGE es el procedimiento de “Kalman Filter”, que es explicado en la próxima sección.

2.3.2. Construcción de los datos

Para la construcción de la Línea Base, los modelos sectoriales utilizan como input la trayectoria de los escenarios bajo, medio y alto del PIB entregado por MAPS Chile. Para la vinculación de sus resultados con el modelo macroeconómico se utilizan los resultados de la trayectoria del escenario medio del PIB.

El modelo sectorial eléctrico entrega información de los sistemas de generación Sistema Interconectado Central (SIC) y Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) sobre capacidad instalada, generación eléctrica, demanda de combustibles y emisiones de CO₂. La información de ambos sistemas es agregada para cada una de estas variables para ser simulada en el modelo macroeconómico. La trayectoria del PIB del sector eléctrico se construye utilizando la proyección de generación eléctrica.

El resto de los modelos sectoriales entrega para la Línea Base información sobre nivel de actividad, demanda de combustibles, demanda eléctrica y emisiones de CO₂. Esta información es simulada en el modelo macroeconómico como Línea Base.

Para construir la trayectoria del PIB sectorial se utiliza el nivel de actividad proyectado por los modelos sectoriales. Estos proyectan por separado el nivel de actividad para cada producto que compone al sector, por lo que, para construir la trayectoria del PIB sectorial, se requiere la ponderación de estos productos en el PIB del sector, información construida a partir de las cifras de cuentas nacionales. Esta información permite proyectar las tasas de crecimiento del PIB de cada uno y con esto proyectar sus participaciones en el agregado. Con estas participaciones se proyecta el sectorial, siendo consistente con la proyección del PIB agregado entregada por MAPS Chile.

En la figura siguiente se presentan los resultados de la trayectoria del PIB sectorial, siendo su sumatoria la trayectoria proyectada para el PIB agregado.

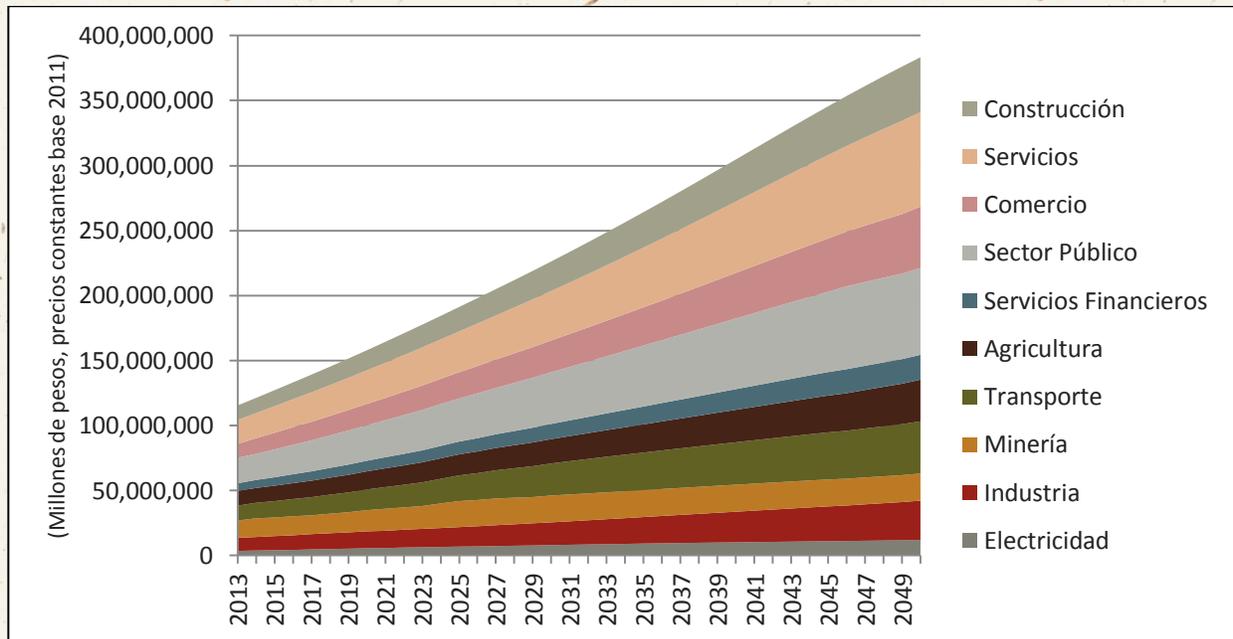


Figura 5: Trayectoria del PIB sectorial (volumen a precios del año anterior encadenado)

2.4. Simulación de escenarios de mitigación

2.4.1. Metodología

Para cada escenario simulado en el modelo MEMO II, se utiliza la siguiente información proporcionada por los modelos sectoriales:

- Plan de expansión del sector de generación eléctrica.
- Gasto incremental de capital (CAPEX).
- Gasto incremental de operación (OPEX).
- Distribución año a año del gasto de CAPEX y OPEX entre los distintos sectores de la economía.
- Cambio en emisiones de CO₂.

El plan de expansión (series de tiempo) se utiliza para introducir la proyección de la capacidad instalada para cada tipo de tecnología que hace el modelo sectorial eléctrico en el modelo MEMO II. Al igual que en la Línea Base, cada una de las tecnologías del modelo sectorial eléctrico es clasificada dentro de los

cuatro tipos que existen en la estructura del modelo macroeconómico: energía hidroeléctrica, carbón, petróleo gas y energías renovables.

En la base de datos elaborada con la información de los modelos sectoriales, cada escenario es descrito por series de tiempo que reflejan el gasto esperado en capital (CAPEX) y los gastos de operación (OPEX), para cada "sector objetivo". Este último es aquel que implementa el conjunto de medidas de mitigación, es decir, el sector que corre con los gastos y obtiene los beneficios de la introducción de la tecnología específica de abatimiento de GEI.

El aumento de la inversión en capital del "sector objetivo" se gasta en los denominados "sectores CAPEX", mientras que los cambios en el gasto por operaciones del "sector objetivo" se asignan a los "sectores OPEX". Los valores de los CAPEX y OPEX toman en cuenta supuestos tecnológicos presentados en su modelación, reflejando el alcance de las inversiones en las tecnologías de reducción de GEI y los gastos o ahorros operacionales que se alcanzarán en el periodo 2010-2050. La asignación de los CAPEX y OPEX permite analizar el efecto de la implementación de cada escenario sobre los distintos sectores de la economía, logrando un mejor análisis de equilibrio general.

Cada escenario de mitigación se simula en el modelo MEMO II por medio de una combinación de shocks, similar al procedimiento hecho para simular la Línea Base. La metodología de simulación, presentada en la Figura 6, consiste en replicar la información de CAPEX y OPEX endógenamente en el modelo utilizando shocks de productividad. Esto se logra mediante el uso del filtro de Kalman, procedimiento que utilizando la solución general traduce la información de CAPEX y OPEX en el set de shocks seleccionados. Además de la información de costos, el modelo debe también simular los cambios en las emisiones directas de CO₂ producto de modificaciones en el proceso productivo diferentes al consumo de combustibles, para lo cual se utilizan shocks que modifican las intensidades de emisiones.

Como resultado de la simulación, el modelo entrega las desviaciones porcentuales de cada variable respecto de su valor de Línea Base. Esto permite aproximarse a los cambios que experimenta la economía cuando se implementa un escenario de mitigación, centrando particularmente el análisis en las variables macroeconómicas y las emisiones de CO₂.

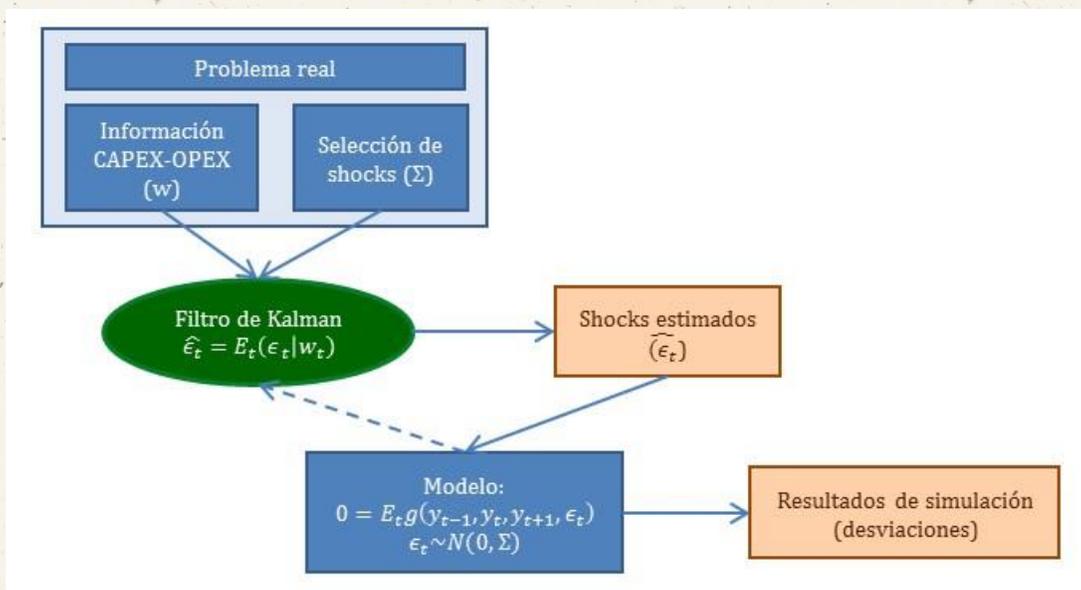


Figura 6: Metodología simulación modelo MEMO II

2.4.2. Construcción de los datos

Para cada escenario, la información simulada en el modelo MEMO II se obtiene directamente de los modelos sectoriales.

Al implementarse un escenario de mitigación, el modelo sectorial eléctrico estima un nuevo plan de expansión para cada tecnología de generación, modificación que a su vez produce nuevos requerimientos de inversión (CAPEX) y cambios en los gastos operacionales (OPEX). Tomando en consideración la información entregada por los consultores del modelo eléctrico, para la simulación en el modelo macroeconómico se asume que la totalidad de las variaciones de los OPEX corresponde a cambios en el consumo de combustible fósiles, mientras que los cambios en el CAPEX son destinados en parte hacia el extranjero (adquisición de insumos) y hacia la economía doméstica (construcción, servicios, etc.)

Respecto a la información entregada por el resto de los modelos sectoriales, esta consta de dos partes. La primera de ellas corresponde a los valores de CAPEX, OPEX y al cambio en las emisiones de CO₂ generados por la implementación del conjunto de medidas que componen el escenario. Esta información es resultado directo de los modelos sectoriales.

El segundo tipo de información corresponde a la forma como se distribuyen los CAPEX y OPEX hacia los distintos sectores de la economía. La distribución para cada escenario es entregada al modelo macroeconómico utilizando una matriz de asignaciones con valores, que son variantes en el tiempo, cuya construcción es realizada por el equipo de investigación de MAPS Chile. Esta matriz se construye en base a las magnitudes y las distribuciones de los CAPEX y OPEX dados en cada medida de mitigación que compone al escenario.

2.5. Interpretación de emisiones del modelo macroeconómico

Como se explicó en las secciones anteriores, el modelo MEMO II está construido no solo con el propósito de evaluar los efectos de implementar medidas de mitigación sobre variables macroeconómicas, sino también sobre las emisiones de CO₂. Para esto, el modelo macroeconómico desarrolla un marco de trabajo de equilibrio general, es decir, considera en el análisis las interacciones entre los distintos sectores de la economía y no solamente lo que sucede dentro del sector en que se implementa el escenario de mitigación.

La introducción de un escenario de mitigación en un sector particular puede afectar sus decisiones de cuánto producir y de qué combinación de insumos utilizar para ello.

Si esto ocurre, dado que parte de sus insumos se componen de bienes o servicios producidos por otros sectores, la demanda sobre la producción de los otros sectores cambiará y, por ende, sus decisiones de cuánto y con qué insumos producir también se verán afectadas. Estos cambios en las ofertas y demandas generan cambios en los precios de bienes e insumos a través de los distintos sectores que componen la economía.

En este proceso también intervienen los hogares, los cuales frente a los cambios de precios (incluyendo salarios) tienen incentivos para modificar sus decisiones de trabajo, consumo e inversión, proceso que a su vez vuelve a repercutir sobre las decisiones de las firmas. Esta interacción se replica hasta que el ajuste de precios de bienes e insumos logra llevar a la economía hacia un nuevo equilibrio. Esto es lo que se conoce como análisis de equilibrio general.

Desde el punto de vista de las emisiones, al implementar un escenario de mitigación los efectos de equilibrio general pueden ser de magnitudes no despreciables. Los efectos interactivos del equilibrio

general pueden hacer que cambios producidos en un sector particular se transmitan hacia los otros sectores de la economía, reforzando o contrarrestando las reducciones originales en las emisiones de CO₂.

Sin embargo, la modelación de equilibrio general tiene sus limitaciones. El hecho de tener que tomar en consideración un gran número de sectores productivos restringe la capacidad de precisión con que se modela cada uno de ellos. Por su parte, los modelos de equilibrio parcial, dentro de los que clasifican los sectoriales, tienen también beneficios y limitantes opuestas. En este caso, los modelos suponen que los cambios que ocurren en el sector de análisis no afectan al resto y, a su vez, que lo que pase en el resto no involucra al sector de análisis. Si bien se tiene la limitante de obviar los efectos de equilibrio general, se logra modelar con gran precisión y detalle el mercado del individual.

3. Resultados de escenarios

La cantidad de variables que maneja el modelo macroeconómico permite examinar el efecto de las medidas de mitigación en muchas dimensiones, lo que puede nublar el objetivo del ejercicio. Por este motivo el análisis se concentra en los siguientes aspectos: la trayectoria de los gastos de capital (CAPEX) y gastos operacionales (OPEX) asociados a cada medida, efectos del escenario sobre las emisiones agregadas y su comparación con la agregación de los modelos sectoriales, y efectos sobre el PIB y el empleo. Sobre otras variables macroeconómicas están disponibles para el lector que las solicite.

MAPS Chile ha seleccionado ocho escenarios de mitigación, lo cual multiplica la cantidad de información para cada uno de ellos. Por este motivo en esta sección se decide analizar en detalle solo cuatro de ellos: impuesto al carbono, escenario de esfuerzo base, alto y de eficiencia energética. La información de los otros está en el Anexo 2 de este documento.

Como se verá en el análisis, la mayor parte de los escenarios evaluados implementan medidas de mitigación que significan mejoras de eficiencia. Estas acciones para su puesta en marcha requieren de un CAPEX, lo que luego permite ahorrar en los OPEX gracias a menores consumos de energía, con una consecuente reducción en las emisiones de CO₂. En otras palabras, los periodos iniciales se caracterizan por la existencia de CAPEX sin aun mostrar los beneficios del ahorro, por lo que el OPEX se mantiene en niveles bajos. A medida que transcurre el tiempo, el CAPEX mantiene su trayectoria relativamente estable; sin embargo, el ahorro se empieza a hacer cada vez más presente a través un OPEX creciente, el que llega a superar de manera importante los niveles del CAPEX en todos los escenarios.

Desde el punto de vista económico, la imposición de un fuerte gasto en capital a través del CAPEX, que corresponde a inversión en maquinarias y equipo adquiridas en su mayor parte desde el extranjero, implica trasladar una pequeña fracción del gasto en bienes nacionales hacia gasto en bienes importados, generando una menor demanda nacional y una consecuente desviación negativa del PIB respecto a lo que habría sucedido en Línea Base. Luego, a medida que transcurre el tiempo, las medidas de mitigación por medio del OPEX negativo proveen mayor eficiencia en los procesos productivos, lo que genera un incremento del PIB que más que contrarresta la caída inicial, permitiendo alcanzar desviaciones positivas respecto a los niveles de Línea Base.

La principal diferencia entre un modelo de equilibrio general y uno parcial, como los sectoriales, es que el primero toma en cuenta el hecho de que las ganancias en eficiencias antes aludidas pueden generar desviaciones positivas del PIB respecto de línea de base, lo cual genera aumentos en las emisiones, haciendo que el efecto neto sobre las emisiones de CO₂ sea menor. Lo contrario sucede si alguna medida genera un efecto negativo sobre la actividad económica.

Como se verá en los resultados en la mayoría de los escenarios, al inicio del horizonte de tiempo existen pequeñas desviaciones negativas del PIB respecto a Línea Base, lo cual hace que no se observen diferencias significativas entre las emisiones de los modelos sectoriales de equilibrio parcial y el modelo DSGE. Luego, al generarse una diferencia positiva y creciente del PIB respecto a Línea Base, el modelo DSGE empieza a mostrar reducciones de emisiones de CO₂ menores a las estimadas por los sectoriales debido a este efecto de equilibrio general. El aumento de la actividad económica contrarresta parte de la reducción inicial de emisiones.

3.1. Impuesto al carbono

El impuesto al carbono es uno de los escenarios de especial interés. Se debe hacer notar que el ejercicio desarrollado en este trabajo difiere del que ha sido incluido en la Reforma Tributaria. En el caso de MAPS Chile, aplica el impuesto al carbono a todas las fuentes de emisiones de la economía sin distinción, mientras que el diseñado para la reforma solo grava a ciertas fuentes de emisiones. Adicionalmente, en el modelo la recaudación fiscal se transfiere directamente a los hogares a suma alzada con el objetivo de evaluar el impacto del impuesto sin efectos adicionales, como podría ser una política complementaria que destine los fondos recaudados a algún fin específico.

Acá se muestran los efectos de un impuesto de US\$ 5 y US\$ 20 la tonelada. También se hicieron ejercicios para valores de US\$ 10, US\$ 40 y US\$ 50, cuyos resultados se encuentran en el Anexo 2. La forma cómo se introducen los impuestos hace que los efectos sean simplemente proporcionales a los impuestos analizados. Es decir, una tasa de gravamen de US\$ 10 reduce el doble de emisiones que una de US\$ 5 y la mitad que una de US\$ 20.

La figura siguiente (a) muestra la evolución del PIB en desviaciones porcentuales respecto de la línea de base. En el caso del impuesto de 5 dólares/tonelada la desviación alcanza a -0,2 puntos porcentuales en estado estacionario (situación de equilibrio de largo plazo), mientras que en un escenario de 20 dólares/tonelada, la desviación en estado estacionario es cercana a -0,9%.

Las estimaciones presentes en la figura corresponden al PIB valorado a precios de mercados, que incorpora el alza de precios como resultado de la imposición del impuesto al carbono. El mismo cálculo hecho para precios sin impuestos, como aproximación a la actividad económica, resulta en desviaciones al 2030 de -0,5% y -1,8% para impuestos de 5 US\$ y 20 US\$, respectivamente.

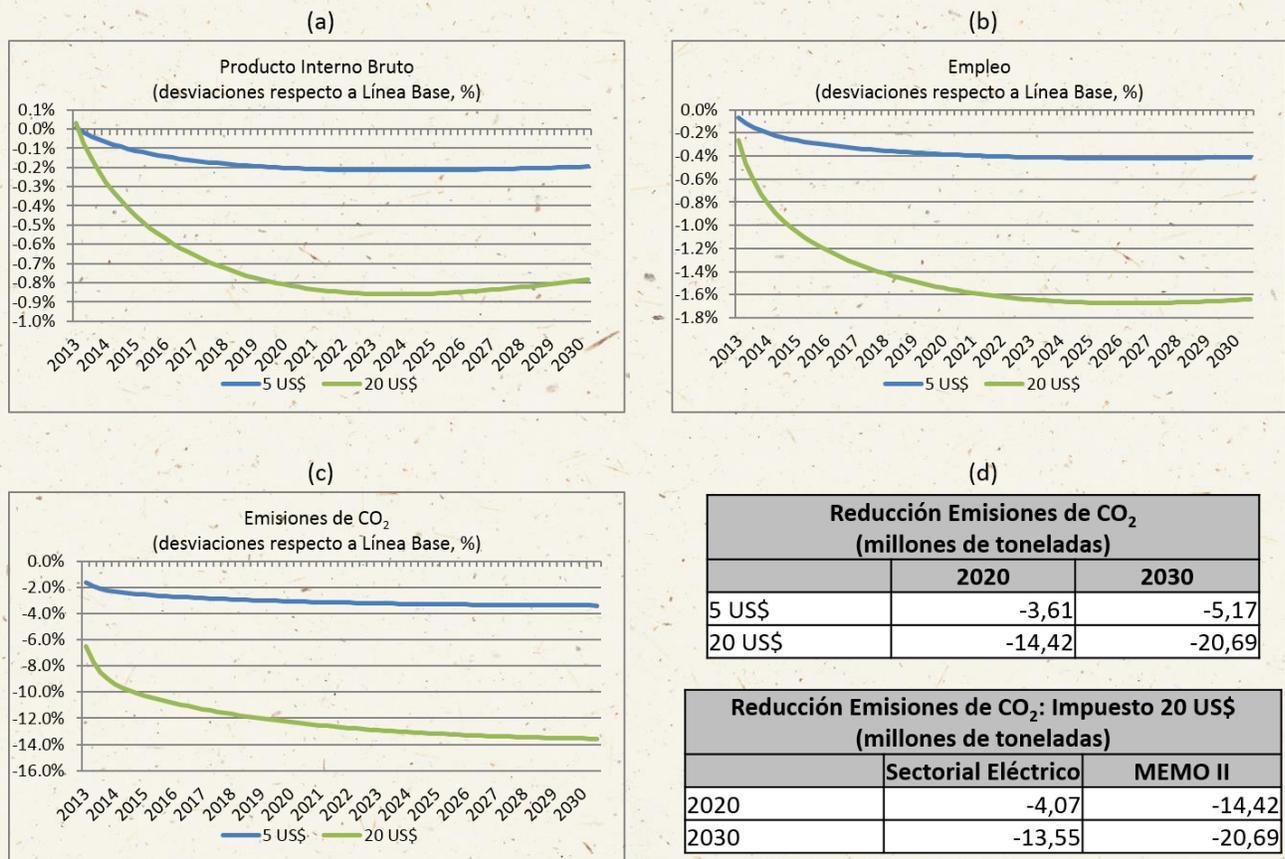


Figura 7: Resultados agregados impuesto al carbono de 5 US\$ y 20 US\$

La Figura 7 (b) muestra el correspondiente efecto sobre el empleo que va de la mano con las disminuciones del PIB. En el caso del impuesto de 20 dólares, se estima un efecto negativo de 1,6% sobre el empleo al 2030. Esto quiere decir que la cantidad de personas empleadas sería un 1,6% menor respecto a la situación sin impuesto.

La Figura 7 (c) muestra que la reducción de emisiones estimada por el modelo DSGE al año 2020 son de 3,1% y 12,3% para 5 y 20 dólares/tonelada, respectivamente. Esto es similar a lo que se obtiene en el largo plazo (3,4% y 13,5%, respectivamente). Esta misma información en la tabla superior de la Figura 7 (d) es expresada en términos de millones de toneladas.

La tabla inferior de la Figura 7 (d) compara la disminución de las emisiones de CO₂ que se obtienen del modelo macro con las obtenidas por un impuesto exclusivamente en el sector eléctrico para el impuesto de 20 dólares/tonelada, en millones de toneladas. Las reducciones de emisiones del modelo DSGE son menores a las obtenidas en el informe sectorial eléctrico, porque el macro supone que se aplica a todo el consumo de combustibles fósiles responsables de las emisiones de CO₂ y porque el sectorial eléctrico supone el inicio del impuesto el año 2017, mientras que el macro asume la implementación para el año 2013.

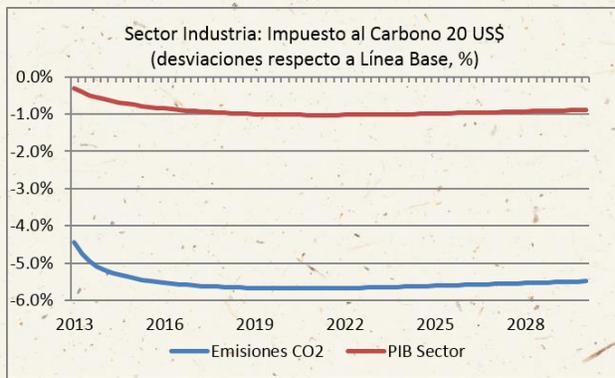
A nivel sectorial se presentan los resultados para el impuesto de 20 dólares. Como es de esperar, los efectos del impuesto al carbono tienden a replicar los efectos agregados, donde la magnitud en la reducción de emisiones depende de la intensidad de uso de combustibles fósiles que hace cada sector y del efecto del impuesto en la actividad económica relevante para cada uno.

Así, los efectos más importantes son en la industria (aparte de los del sector eléctrico que básicamente son equivalentes a los estimados por los estudios sectoriales ya que en la simulación se replican dichos efectos), luego en transporte, materias primas y en mucho menor medida sobre el sector residencial.

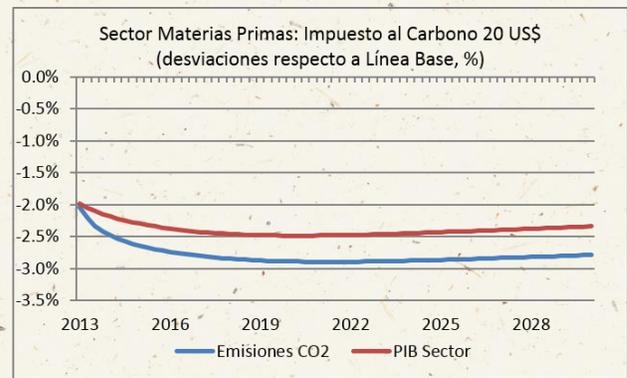
Este último, a diferencia del resto de los sectores, presenta un incremento de las emisiones en los primeros periodos. Una explicación posible de este resultado es el cierre financiero decidido para la simulación. Para evitar distorsionar la economía con otro efecto que no provenga de la imposición del impuesto, se decidió que en la simulación la recaudación por el impuesto se transfiriera a los hogares a suma alzada. Esto aumenta el ingreso de los hogares, lo que en la transición genera un mayor consumo de combustibles fósiles. Los resultados se presentan en la Figura 8.

Respecto a las trayectorias del PIB a nivel sectorial, al igual que en los resultados agregados, las estimaciones presentadas en la Figura 8 corresponden al PIB valorado a precios de mercados, que incorpora el alza de precios como resultado de la imposición del impuesto al carbono. El mismo cálculo hecho para precios sin impuestos, como aproximación a la actividad económica del sector, resulta para el 2030 en desviaciones de -2,5%, -2,9 y -2,0 para los sectores de industria, materias primas y transporte, respectivamente.

Como ejemplo para entender la diferencia entre ambas estimaciones podemos analizar el sector transporte. La imposición del impuesto significa que la firma de transporte debe pagar un costo adicional por cada litro de combustible fósil que consume, por sobre el costo de compra del insumo. En su proceso de producción la firma traspasa parte de este mayor valor al precio de venta de los servicios de transporte, al mismo tiempo que en el equilibrio es posible que se reduzca la cantidad de viajes transados en el mercado. La mayor diferencia entre el precio de venta del servicio de transporte y el precio de compra de los insumos podría provocar un incremento en el valor agregado generado por el sector (PIB sector), aun cuando la cantidad efectiva de viajes se haya reducido.



(c)



(d)

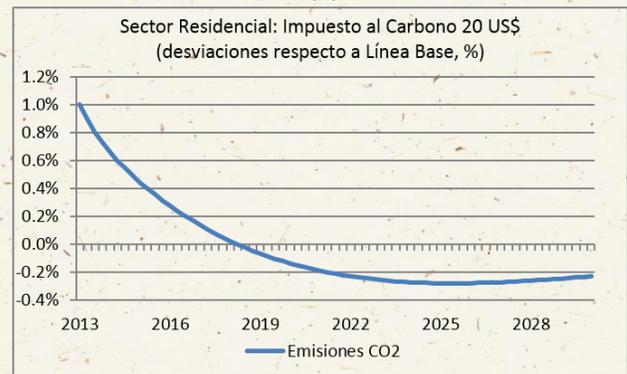
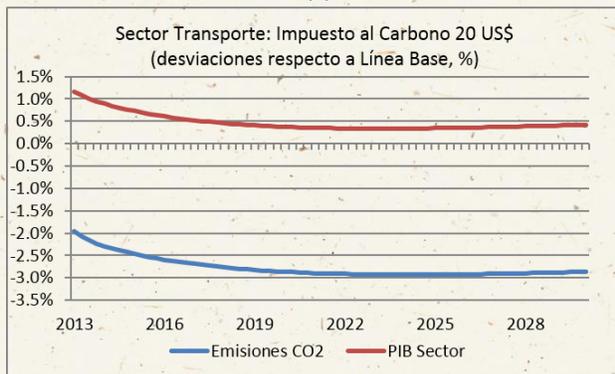


Figura 8: Resultados a nivel sectorial de impuesto al carbono de 20 US\$

Por último, el efecto sobre el empleo está estrechamente relacionado con la trayectoria del PIB como muestra la Tabla 2. Los sectores más afectados son materias primas, industria y electricidad en ese orden, lo que concuerda con los efectos de equilibrio general obtenidos con el modelo macroeconómico. Como contraposición, tanto construcción como público son los menos afectados porcentualmente, pero son los que concentran los mayores niveles de empleo. Respecto al impacto sobre la tasa de desempleo, asumiendo una tasa de desempleo natural de 8,0%, los resultados muestran un aumento a tasas de 8,3% y 8,2% para los años 2020 y 2030, respectivamente.

La tasa de desempleo no es directamente proporcional a los cambios en el empleo debido a que en el modelo DSGE la fuerza de trabajo es endógena. En otras palabras, los movimientos de salarios afectan las decisiones de participación laboral de los hogares.

Efecto sobre empleo: 20 US\$

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura (1)	10,0%	-1,8%	-1,8%
Construcción (2)	14,6%	-2,0%	-0,9%
Electricidad (3)	0,7%	-1,5%	-2,1%
Servicios Financieros (4)	1,8%	-1,9%	-1,9%
Industria Manufacturera (5)	11,6%	-2,5%	-2,4%
Servicios Públicos (6)	20,8%	-0,8%	-1,5%
Otros Servicios (7)	10,3%	-1,3%	-1,4%
Transporte (8)	7,3%	-1,9%	-1,8%
Comercio (9)	19,7%	-1,6%	-1,5%
Materias Primas (10)	3,3%	-3,0%	-2,9%
Total	100,0%	-1,6%	-1,6%

Efecto sobre empleo y tasa de desempleo: 20 US\$

Año	Supuesto: tasa natural de desempleo (%)	Tasa de desempleo ¹ (%)	Cambio en el empleo (cantidad)
2020	8,0%	8,3%	-140.182
2030	8,0%	8,2%	-152.469

(1) La relación entre tasa de desempleo y empleo no es directa porque la fuerza laboral es endógena en el modelo MEMO II,

- (1) Incluye agricultura, caza, silvicultura y pesca,
- (2) Incluye construcción y actividades inmobiliarias,
- (3) Incluye electricidad, gas y agua,
- (4) Incluye servicios de intermediación financiera,
- (5) Incluye industria manufacturera,
- (6) Incluye administración pública, defensa, seguridad social, educación, salud y trabajo social, otros servicios comunitarios, sociales y personales,
- (7) Incluye servicio doméstico y otros servicios,
- (8) Incluye transporte, almacenamiento y telecomunicaciones,
- (9) Incluye ventas del comercio, reparaciones,
- (10) Incluye minería y explotación de canteras; productos minerales metálicos y no metálicos,

Tabla 2: Efecto sobre el empleo y tasa de desempleo

3.2. Escenario esfuerzo base

En la Figura 9 (a) y Figura 9 (d) se puede apreciar para la economía agregada que el CAPEX llega a \$275.000 millones el año 2020, cifra que aumenta a \$950.000 millones al año 2030, lo que representa respectivamente un 0,2% y 0,4% del PIB proyectado para esos años.

Por otra parte, para el año 2020 el OPEX muestra un ahorro de \$620.000 millones al año 2020 y \$2.583.000 millones al 2030, lo que significa un ahorro de 0,5% y 1,2% del PIB, respectivamente.

El ahorro generado por la implementación de las medidas de mitigación se traduce en una mejora de productividad para la economía, efecto que se va intensificando a lo largo del horizonte de tiempo. La Figura 9 (b) muestra el efecto de este shock positivo de productividad sobre la trayectoria del PIB y del empleo. Inicialmente se aprecia una desviación negativa de hasta -1,0% respecto de los niveles que se habrían tenido en Línea Base, efecto negativo que desaparece al año 2020, dando paso a ganancias positivas que alcanzan al año 2030 un 4,1% y 3,5% para el PIB y para el empleo, respectivamente.

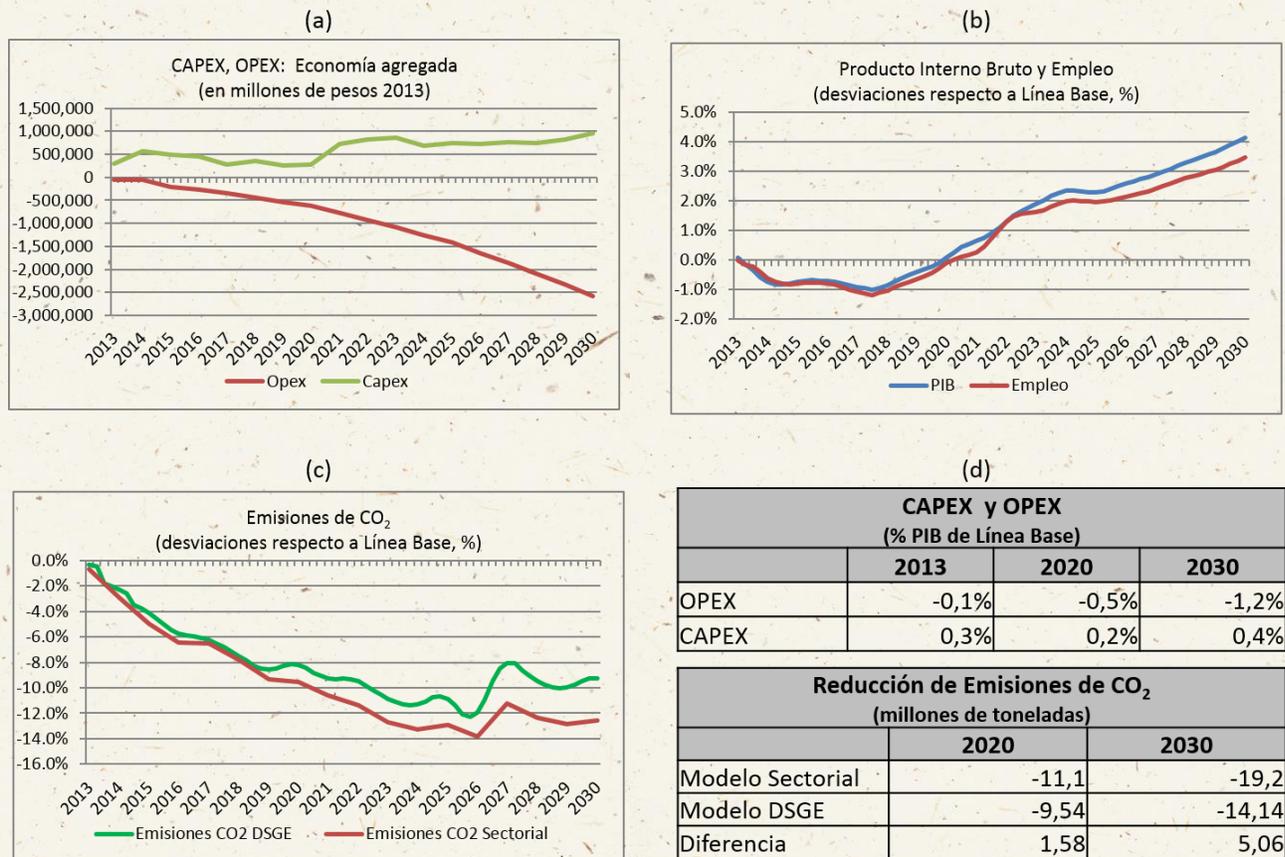


Figura 9: Resultados esfuerzo base economía agregada

A partir del año 2020 el aumento del PIB por sobre su nivel de Línea Base genera el efecto de equilibrio general sobre las emisiones de CO₂. En la Figura 9 (c) y Figura 9 (d) se aprecia que a partir de ese año la trayectoria de las emisiones de CO₂ del modelo DSGE muestran una desviación menor respecto a línea de base que la estimada por los modelos sectoriales, diferencia que crece a medida que pasan los años, lo que es congruente con el aumento en la actividad económica. Al año 2020, el resultado sectorial indica una reducción de 9,5% (11,1 millones de toneladas) de las emisiones mientras que el modelo DSGE estima una contracción de 8,2% (9,5 millones de toneladas). La diferencia aumenta para el año 2030, donde los modelos sectoriales consideran una reducción de 12,6% (19,2 millones de toneladas) mientras que el DSGE solo una baja de 9,3% (14,4 millones de toneladas).

Resultados a nivel sectorial

Los mismos efectos vistos para la economía como un todo pueden ser analizados de manera desagregada a nivel sectorial. La figura siguiente muestra los resultados de desviaciones respecto de línea de base del PIB sectorial, emisiones sectoriales de equilibrio parcial y del DSGE para los sectores industria, materias primas, transporte y residencial. En la mayoría de los casos el patrón de emisiones agregadas es replicada en los sectores, es decir, el modelo DSGE predice una reducción menor de las emisiones que los estudios sectoriales. Esto tiende a ocurrir a partir del 2020, fecha en que el PIB empieza a desviarse positivamente de la línea de base. Antes del 2020, la reducción de emisiones que se obtiene del DSGE, para algunos sectores, es incluso levemente mayor que el estudio sectorial. Esto se explica por el hecho de que el PIB se desvía negativamente de línea de base.

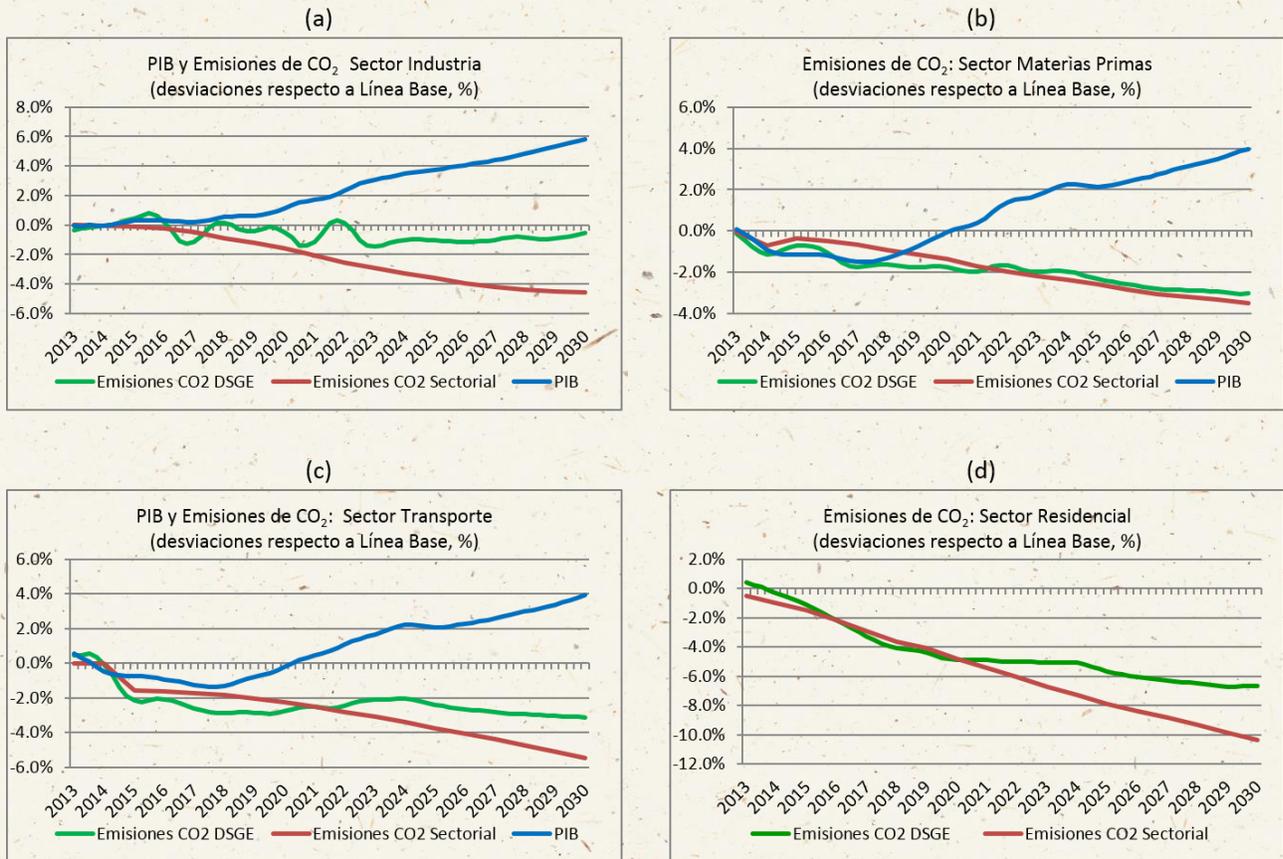


Figura 10: Resultados esfuerzo base sectorial

Respecto del empleo, la Tabla 3 muestra las desviaciones respecto a línea de base para los años 2020 y 2030 así como la importancia que tiene actualmente en el empleo total el empleo de cada sector. Al año 2020, el impacto sobre el empleo es levemente negativo, lo que va de la mano con la evolución del PIB, mientras que para el 2030 este es positivo, lo que refleja la desviación positiva del PIB. Llamen la atención los efectos sobre el sector eléctrico en que las desviaciones son grandes; pero, por otra parte, este sector emplea una porción muy baja de la fuerza de trabajo, lo que lleva a pensar que las variaciones de empleo en términos porcentuales van a ser grandes. Respecto a la tasa de desempleo, asumiendo una tasa natural de 8,0% los resultados muestran una disminución a tasas de 7,9% y 7,2% para los años 2020 y 2030, respectivamente.

Efecto sobre Empleo

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10,0%	-0,8%	2,4%
Construcción (2)	14,6%	3,2%	4,5%
Electricidad (3)	0,7%	-9,8%	-18,9%
Servicios Financieros (4)	1,8%	-0,3%	3,6%
Industria Manufacturera (5)	11,6%	0,6%	3,7%
Servicios Públicos (6)	20,8%	-0,8%	4,6%
Otros Servicios (7)	10,3%	-0,4%	2,7%
Transporte (8)	7,3%	-0,5%	2,9%
Comercio (9)	19,7%	-0,1%	3,5%
Materias Primas (10)	3,3%	-0,3%	3,3%
Total	100,0%	-0,1%	3,5%

Efecto sobre Empleo y Tasa de Desempleo

Año	Supuesto: tasa natural de desempleo (%)	Tasa de desempleo ¹ (%)	Cambio en el empleo (cantidad)
2020	8,0%	7,9%	-9.975
2030	8,0%	7,2%	320.925

(1) La relación entre tasa de desempleo y empleo no es directa porque la fuerza laboral es endógena en el modelo MEMO II,

- (1) Incluye agricultura, caza, silvicultura y pesca,
- (2) Incluye construcción y actividades inmobiliarias,
- (3) Incluye electricidad, gas y agua,
- (4) Incluye servicios de intermediación financiera,
- (5) Incluye industria manufacturera,
- (6) Incluye administración pública, defensa, seguridad social, educación, salud y trabajo social, otros servicios comunitarios, sociales y personales,
- (7) Incluye servicio doméstico y otros servicios,
- (8) Incluye transporte, almacenamiento y telecomunicaciones,
- (9) Incluye ventas del comercio, reparaciones,
- (10) Incluye minería y explotación de canteras; productos minerales metálicos y no metálicos,

Tabla 3: Efecto sobre el empleo y tasa de desempleo

3.3. Escenario esfuerzo alto

En la figura a continuación (a) y (d) se puede apreciar para la economía agregada que el CAPEX se acerca a \$3.350.000 millones el año 2020 cifra que disminuye a \$2.800.000 millones al año 2030, lo que representa un 2,1% y 1,2% del PIB proyectado, respectivamente. Por su parte, el OPEX muestra un ahorro de \$975.000 millones al año 2020 y \$4.831.000 millones al año 2030, lo que significa un ahorro de 0,6% y 2,1% del PIB respectivamente.

El ahorro generado por la implementación de las medidas de mitigación es similar al del escenario base para el año 2020, pero es casi el doble al 2030, lo que implica un mayor shock de productividad positivo sobre la economía. La figura a continuación (b) presenta el efecto sobre la trayectoria del PIB y del empleo de este shock de productividad. Similar al resultado del escenario base, durante los primeros periodos se aprecia una desviación negativa de estas variables de hasta 1,0% respecto a los valores de Línea Base, efecto negativo que desaparece al año 2020. Posteriormente se observa para el PIB y el empleo una diferencia positiva y creciente, mayor a la estimada para el escenario base, que alcanza a un 7,4% y 6,3% al año 2030, respectivamente.

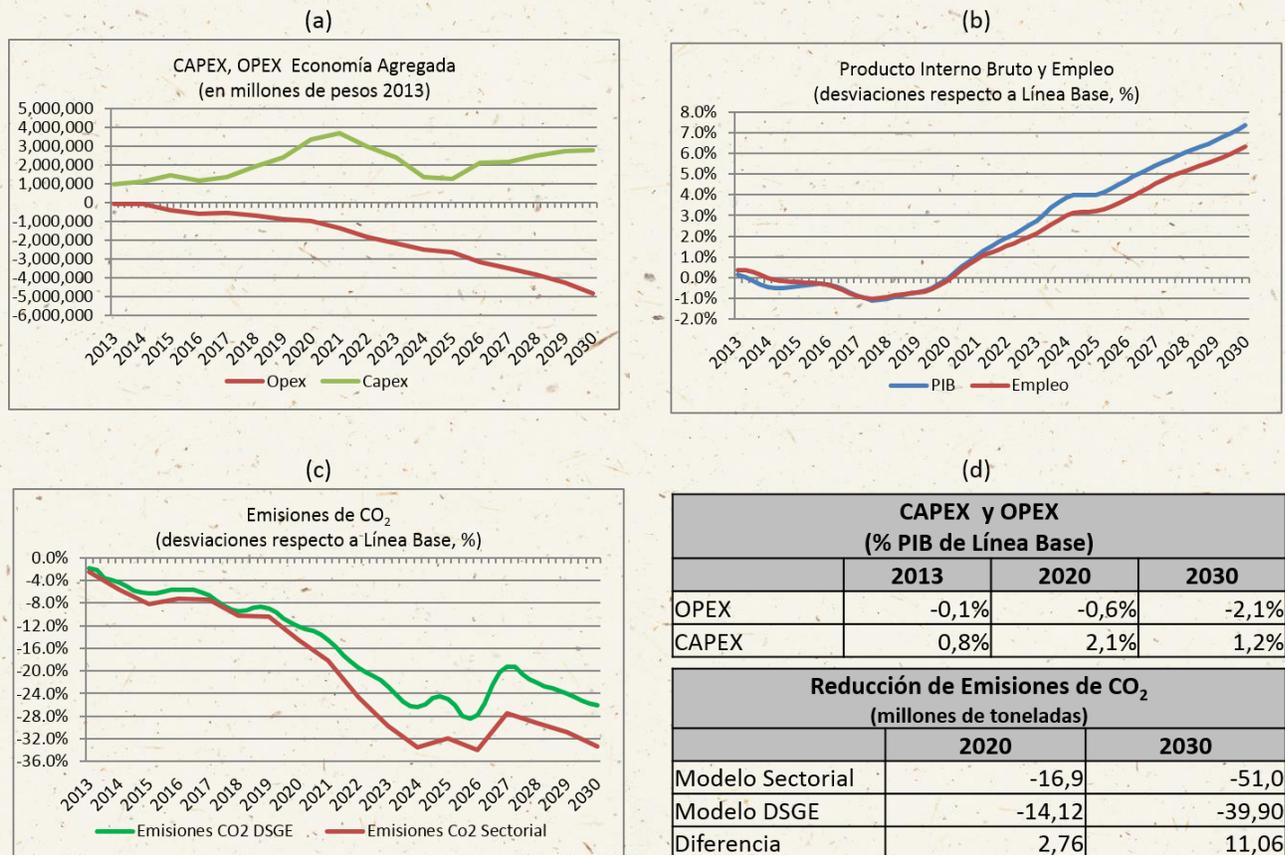


Figura 11: Resultados esfuerzo alto economía agregada

Al igual que en los resultados para el escenario base, a partir del año 2020 el aumento del PIB por sobre su nivel de Línea Base genera un efecto de equilibrio general sobre las emisiones de CO₂. En la Figura 11(c) y Figura 11 (d) se aprecia que a partir de ese año la trayectoria de las emisiones de CO₂ del modelo DSGE muestra una desviación menor que la estimada por los modelos sectoriales.

Al año 2020, el resultado sectorial indica una reducción de 14,5% (16,9 millones de toneladas) de las emisiones, mientras que el modelo DSGE estima una disminución de 12,2% (14,1 millones de toneladas). La diferencia crece para el año 2030, donde los modelos sectoriales consideran una reducción de 33,4% (51 millones de toneladas) mientras que el DSGE estima solo una baja de 26,2% (39,9 millones de toneladas). Esto significa que, en el escenario alto, al final del horizonte de proyección la diferencia en la reducción de emisiones estimada es de 7,2 puntos porcentuales (11,1 millones de toneladas) atribuible al efecto de equilibrio general, mayor que la diferencia de 3,3 puntos porcentuales estimada en el escenario base (5,1 millones de toneladas).

Resultados a nivel sectorial

La Figura 12 muestra los resultados de desviaciones respecto de línea de base del PIB, emisiones de equilibrio parcial y del DSGE a nivel sectorial para industria, materias primas, transporte y residencial. El modelo DSGE nuevamente predice una reducción menor de las emisiones que los modelos de equilibrio parcial para industria y para residencial. Esto tiende a ocurrir a partir del 2020, fecha en que el PIB empieza a desviarse positivamente de la línea de base. Antes del 2020, la reducción de emisiones que se

obtiene del DSGE, para algunos sectores, es incluso levemente mayor que el estudio sectorial. Esto se explica por el hecho de que el PIB se desvía negativamente de línea de base.

A diferencia de lo estimado para el escenario base, en el alto el sector transporte no presenta desacople entre las emisiones estimadas por el modelo DSGE y los de equilibrio parcial. La razón de esto subyace en los mayores valores de los OPEX de transporte, que en el escenario alto casi duplica al OPEX del escenario base producto de la intensificación de medidas como la de “Metas de CO₂”. Esto implica que la intensidad de emisión de transporte baje de manera importante provocando el desacoplamiento de las emisiones de la actividad económica.

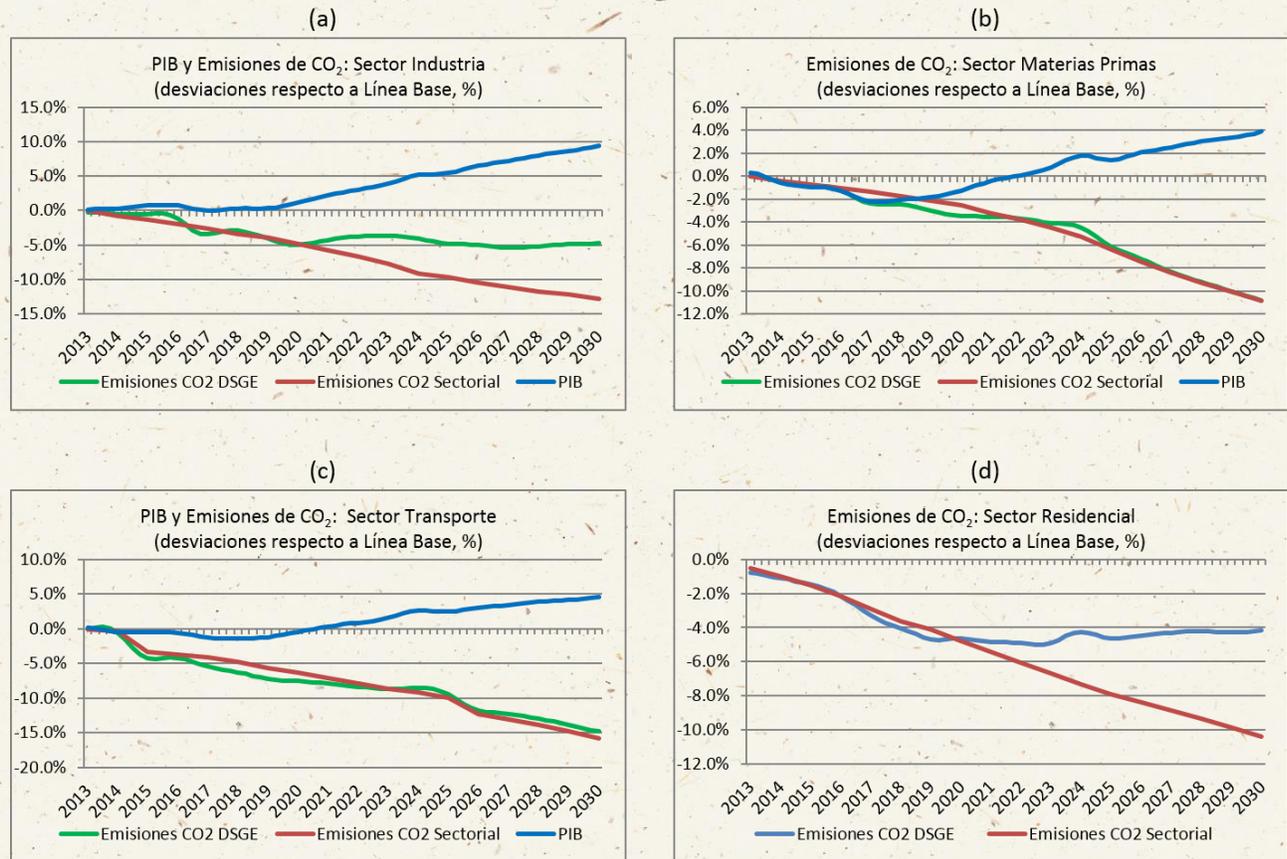


Figura 12: Resultados esfuerzo alto sectorial

Respecto del empleo, la Tabla 4 muestra nuevamente que sigue una trayectoria fuertemente asociada a la del PIB. Al año 2020, el impacto es levemente negativo, mientras que para el 2030 es fuertemente positivo. El empleo, al igual que el PIB, presenta desviaciones positivas que casi duplican a las estimadas para el escenario base. Destaca el sector construcción como el de mayor efecto positivo, lo que responde a la importante magnitud de CAPEX asignado en el escenario alto. Respecto a la tasa de desempleo, asumiendo una tasa natural de 8,0%, los resultados muestran una disminución a tasas de 7,8% y 6,2% para los años 2020 y 2030, respectivamente, donde este último dato significa una creación adicional cercana a los 590.000 empleos sobre los ya existentes en Línea Base.

Efecto sobre Empleo

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10.0%	0.0%	5.2%
Construcción (2)	14.6%	2.4%	8.3%
Electricidad (3)	0.7%	-26.0%	-3.2%
Servicios Financieros (4)	1.8%	0.1%	7.1%
Industria Manufacturera (5)	11.6%	1.2%	8.2%
Servicios Públicos (6)	20.8%	-0.7%	7.6%
Otros Servicios (7)	10.3%	0.3%	5.2%
Transporte (8)	7.3%	-0.2%	2.9%
Comercio (9)	19.7%	0.2%	6.6%
Materias Primas (10)	3.3%	-1.4%	2.3%
Total	100.0%	-0.2%	6.3%

Efecto sobre Empleo y Tasa de Desempleo

Año	Supuesto: tasa natural de desempleo (%)	Tasa de desempleo ¹ (%)	Cambio en el empleo (cantidad)
2020	8,0%	7,8%	-13.177
2030	8,0%	6,2%	588.445

(1) La relación entre tasa de desempleo y empleo no es directa porque la fuerza laboral es endógena en el modelo MEMO II,

- (1) Incluye agricultura, caza, silvicultura y pesca,
- (2) Incluye construcción y actividades inmobiliarias,
- (3) Incluye electricidad, gas y agua,
- (4) Incluye servicios de intermediación financiera,
- (5) Incluye industria manufacturera,
- (6) Incluye administración pública, defensa, seguridad social, educación, salud y trabajo social, otros servicios comunitarios, sociales y personales,
- (7) Incluye servicio doméstico y otros servicios,
- (8) Incluye transporte, almacenamiento y telecomunicaciones,
- (9) Incluye ventas del comercio, reparaciones,
- (10) Incluye minería y explotación de canteras; productos minerales metálicos y no metálicos,

Tabla 4: Efecto sobre empleo y tasa de desempleo

E. Conclusiones

En cuanto a los resultados obtenidos, se puede destacar:

- Los resultados de la modelación macroeconómica dependen en forma fundamental de la información proveniente de las series de CAPEX y OPEX.
- En la mayoría de los escenarios, las medidas de mitigación generan OPEX fuertemente negativos que se traducen en shocks positivos en el modelo macro. Esto genera en el largo plazo, en general después del año 2020, desviaciones positivas del PIB respecto de la línea de base. Estas desviaciones atenúan el impacto de las medidas sobre las emisiones de CO₂, lo que hace que las reducciones de emisiones en el DSGE sean menores que las que provienen de los modelos sectoriales. Este menor efecto es lo que denomina el efecto de equilibrio general, generado por el hecho de que los sectores se ven afectados por lo que sucede en otros.
- Junto con lo anterior, existen diferencias en las reducciones de emisiones estimadas por los modelos sectoriales y aquellas que resultan del DSGE. En particular, cuando el efecto en el PIB es positivo, las estimaciones de reducción de emisiones del modelo macroeconómico se encuentra por debajo de aquellas obtenidas por la suma de las reducciones de los sectoriales. Coherentemente, cuando el impacto en el PIB es negativo, los sectoriales tienden a subestimar el efecto general en la reducción.
- El modelo macro genera una mayor reducción de emisiones en el escenario de un impuesto al carbono. La razón descansa en dos elementos: a) el impuesto se impone a toda la economía y no solamente al sector eléctrico; b) el gravamen al carbono disminuye la actividad económica, lo que provoca una reducción adicional de las emisiones. Por el contrario, en aquellos escenarios que involucran una ganancia en eficiencia energética, el efecto de equilibrio general hace que las reducciones en emisiones sean menores que en los sectoriales, ya que las ganancias en eficiencias se traducen en mayor actividad económica y emisiones.
- En el corto plazo (2020), se observa un impacto negativo no significativo en el empleo y en la producción en casi todos los escenarios, con la excepción del impuesto al carbono.
- Los escenarios de mitigación son costo efectivos al 2030, en el sentido que se verifica un aumento del PIB y de los niveles de empleo, excepto en el escenario de impuesto al carbono.

F. Anexos

1. Anexo 1 - Parámetros del modelo macroeconómico

1.1. Proyección de la población

Tasa de crecimiento de la población (%)			
Año	Escenario	Año	Escenario
2013	0,89	2032	0,33
2014	0,88	2033	0,33
2015	0,87	2034	0,33
2016	0,77	2035	0,33
2017	0,76	2036	0,2
2018	0,75	2037	0,2
2019	0,75	2038	0,2
2020	0,74	2039	0,2
2021	0,63	2040	0,2
2022	0,62	2041	0,08
2023	0,62	2042	0,08
2024	0,61	2043	0,08
2025	0,61	2044	0,08
2026	0,48	2045	0,08
2027	0,48	2046	0,01

2028	0,47	2047	0,01
2029	0,47	2048	0,01
2030	0,47	2049	0,01
2031	0,33	2050	0,01
Valor inicial 2012		17.402.630 habitantes	
Fuente	<u>Instituto Nacional de Estadísticas</u>		

1.2. Proyección de la tasa de crecimiento del PIB

Tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (%)							
Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto	Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
2013	4,70	5,20	5,70	2032	2,70	3,20	3,63
2014	4,50	5,00	5,50	2033	2,64	3,15	3,52
2015	4,40	4,90	5,40	2034	2,59	3,10	3,40
2016	4,20	4,70	5,20	2035	2,54	3,05	3,25
2017	4,00	4,50	5,00	2036	2,49	3,00	3,10
2018	3,90	4,40	4,90	2037	2,44	2,95	2,93
2019	3,80	4,30	4,80	2038	2,39	2,90	2,76
2020	3,70	4,20	4,70	2039	2,34	2,84	2,59
2021	3,60	4,10	4,60	2040	2,29	2,78	2,45
2022	3,50	4,00	4,50	2041	2,25	2,71	2,33

2023	3,40	3,90	4,41	204 2	2,20	2,64	2,23
2024	3,30	3,80	4,32	204 3	2,15	2,56	2,15
2025	3,20	3,70	4,24	204 4	2,10	2,47	2,08
2026	3,10	3,60	4,15	204 5	2,05	2,38	2,04
2027	3,00	3,50	4,07	204 6	2,00	2,28	2,00
2028	2,90	3,40	3,99	204 7	1,95	2,18	1,97
2029	2,85	3,35	3,91	204 8	1,90	2,09	1,95
2030	2,80	3,30	3,82	204 9	1,85	2,00	1,93
2031	2,75	3,25	3,73	205 0	1,80	1,91	1,91
Valor inicial 2012	109.750.797 (PIB volumen a precios del año anterior encadenado, millones de pesos).						
Fuente	Cuentas Nacionales, Base de Datos Estadísticos, Banco Central de Chile, Ministerio de Hacienda y equipo economía PUC.						

1.3. Proyección del tipo de cambio nominal

Valor promedio anual del tipo de cambio nominal							
Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto	Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
2013	479,8	479,8	479,8	2032	445,2	449,7	454,2
2014	485	485,5	486	2033	444,8	449,4	453,9
2015	487,5	488,7	489,8	2034	444,8	449,3	453,8
2016	488,7	490,6	492,4	2035	444,9	449,4	453,9
2017	487,9	490,6	493,3	2036	445,3	449,8	454,3
2018	481,2	484,5	487,7	2037	446	450,5	455
2019	478,2	481,9	485,7	2038	446,9	451,4	455,9
2020	474,7	478,8	483	2039	448,1	452,7	457,2
2021	471	475,4	479,8	2040	449,7	454,2	458,7
2022	467,1	471,8	476,4	2041	451,5	456,1	460,6
2023	463,4	468,2	472,9	2042	453,7	458,3	462,8
2024	459,9	464,7	469,5	2043	456,2	460,8	465,4
2025	456,8	461,5	466,3	2044	459,1	463,7	468,3
2026	454	458,7	463,5	2045	462,3	466,9	471,6
2027	451,6	456,3	461	2046	465,8	470,5	475,2
2028	449,6	454,3	458,9	2047	469,5	474,2	479
2029	448	452,6	457,2	2048	473,4	478,2	483
2030	446,7	451,3	455,9	2049	477,5	482,3	487,2

Valor promedio anual del tipo de cambio nominal							
Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto	Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
2031	445,8	450,4	454,9	2050	481,6	486,5	491,3
Fuente				Ministerio de Hacienda			

1.4. Proyección de la tasa de interés nominal

Valor promedio anual de la tasa de interés nominal							
Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto	Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
2013	5,50	5,50	5,50	2032	6,51	6,46	6,41
2014	5,50	5,50	5,50	2033	6,52	6,47	6,42
2015	5,50	5,50	5,50	2034	6,52	6,47	6,43
2016	5,50	5,50	5,50	2035	6,52	6,47	6,42
2017	5,50	5,50	5,50	2036	6,51	6,46	6,41
2018	5,50	5,50	5,50	2037	6,48	6,44	6,39
2019	5,58	5,57	5,55	2038	6,46	6,41	6,36
2020	5,67	5,65	5,62	2039	6,42	6,37	6,33
2021	5,77	5,74	5,70	2040	6,38	6,33	6,28
2022	5,88	5,83	5,80	2041	6,32	6,27	6,23
2023	5,98	5,93	5,89	2042	6,26	6,21	6,17

Valor promedio anual de la tasa de interés nominal							
Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto	Año	Escenario Bajo	Escenario Medio	Escenario Alto
2024	6,08	6,03	5,98	2043	6,18	6,14	6,09
2025	6,17	6,12	6,07	2044	6,10	6,06	6,01
2026	6,25	6,20	6,15	2045	6,01	5,97	5,92
2027	6,32	6,27	6,22	2046	5,91	5,87	5,83
2028	6,38	6,33	6,28	2047	5,81	5,77	5,73
2029	6,43	6,37	6,33	2048	5,70	5,66	5,62
2030	6,46	6,41	6,36	2049	5,60	5,55	5,51
2031	6,49	6,44	6,39	2050	5,49	5,45	5,41
Fuente	Ministerio de Hacienda						

1.5. Proyección del PIB regional

Porcentaje de participación del PIB de cada región sobre PIB nacional (%)													
Año	RI	RII	RIII	RIV	RV	RM	RVI	RVII	RVIII	RIX	RX	RXI	RXII
2013	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,10	0,03	0,05	0,01	0,01
2014	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2015	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2016	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2017	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2018	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2019	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2020	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2021	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01

Porcentaje de participación del PIB de cada región sobre PIB nacional (%)													
Año	RI	RII	RIII	RIV	RV	RM	RVI	RVII	RVIII	RIX	RX	RXI	RXII
2022	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2023	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2024	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2025	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2026	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2027	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2028	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2029	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2030	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2031	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,09	0,03	0,05	0,01	0,01
2032	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2033	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2034	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,49	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2035	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2036	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2037	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,04	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2038	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2039	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2040	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2041	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,05	0,01	0,01
2042	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2043	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2044	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2045	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2046	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2047	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2048	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2049	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
2050	0,03	0,07	0,02	0,03	0,09	0,50	0,05	0,05	0,08	0,03	0,06	0,01	0,01
Fuente	Estudio MIDEPLAN y datos del Banco Central de Chile, equipo económico MAPS												

2. Anexo 2 - Resultados del modelo macroeconómico

2.1. Escenario eficiencia energética

Resultados Economía Agregada

El ahorro generado por la implementación de las medidas de mitigación en el escenario de eficiencia energética es muy similar al del base para los años 2020 y 2030, lo se puede apreciar en las figuras a continuación (a) y (d). La figura (b) presenta los efectos sobre la trayectoria del PIB y del empleo de la implementación de las medidas. Al igual que en los otros escenarios, durante los primeros periodos se aprecia una desviación negativa de estas variables de hasta -1,3% respecto a los valores de Línea Base, efecto negativo que desaparece al año 2022, levemente más tarde que en los base y alto. Posterior a esta fecha se observa una diferencia positiva y creciente tanto para el PIB como para el empleo, que alcanza a un 3,3% y 2,6% al año 2030, respectivamente. Por lo tanto, el efecto positivo sobre el PIB y el empleo es algo inferior a lo estimado para el escenario base y menos de la mitad de lo considerado para el escenario alto.

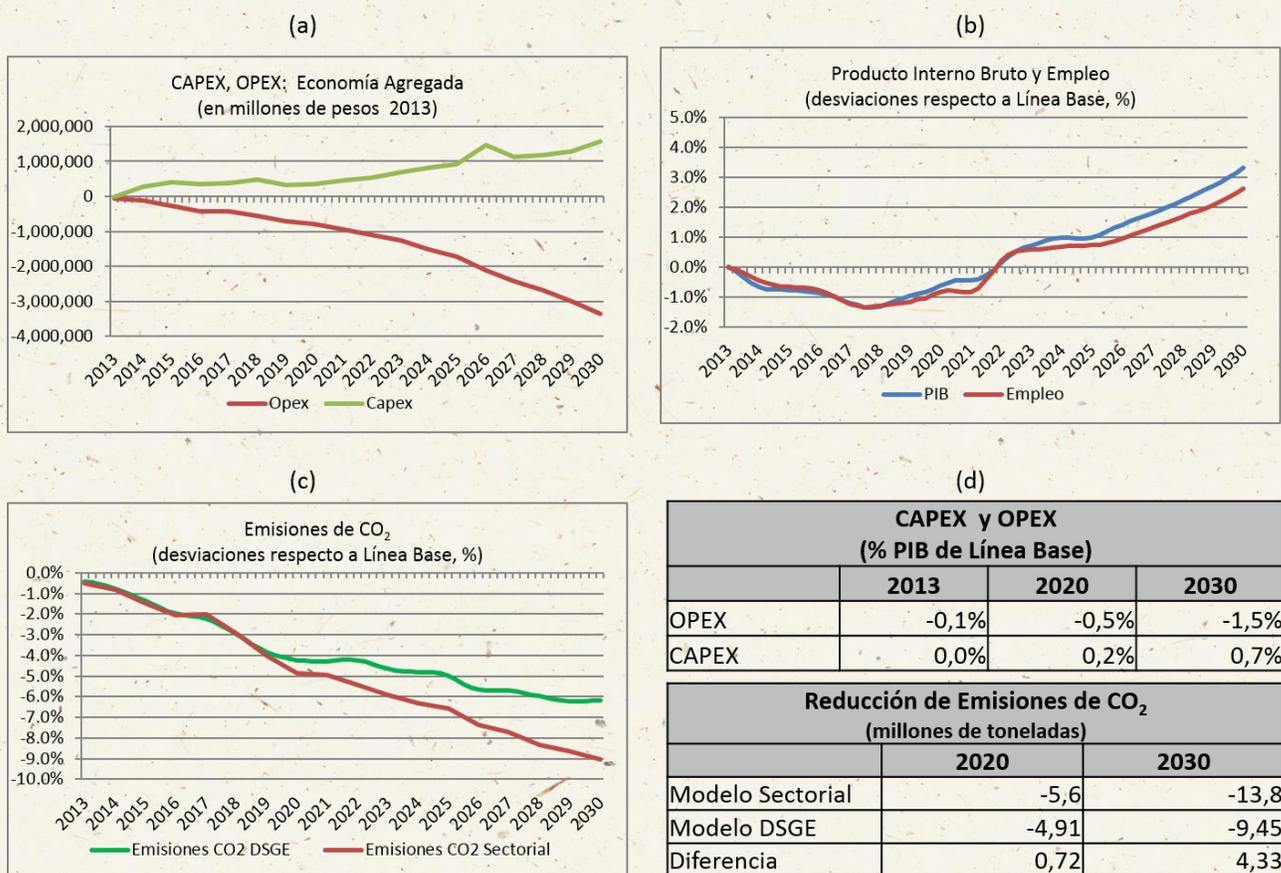


Figura 13: Resultados eficiencia energética economía agregada

En las figuras previas (c) y (d), nuevamente se aprecia que a partir del año 2019 la trayectoria de las emisiones de CO₂ del modelo DSGE muestran una desviación menor que la estimada por los modelos sectoriales.

Al año 2020, el resultado sectorial indica una reducción de 4,8% (5,6 millones de toneladas) de las emisiones mientras que el DSGE estima una baja de 4,2% (4,9 millones de toneladas). La diferencia crece para el año 2030, donde los modelos sectoriales consideran una reducción de 9,0% (13,8 millones de toneladas) mientras que el DSGE solo una baja de 6,2% (9,5 millones de toneladas). Esto significa que el escenario de eficiencia energética termina el horizonte de proyección con una diferencia de 2,8 puntos porcentuales (4,3 millones de toneladas) en la reducción de emisiones atribuible al efecto de equilibrio general.

Resultados a nivel sectorial

La figura a continuación muestra los resultados de desviaciones respecto de línea de base del PIB, emisiones de equilibrio parcial y del DSGE a nivel sectorial para industria, materias primas, transporte y sector residencial. El modelo DSGE nuevamente predice una reducción menor de las emisiones que los modelos de equilibrio parcial para industria, transporte y para el sector residencial.

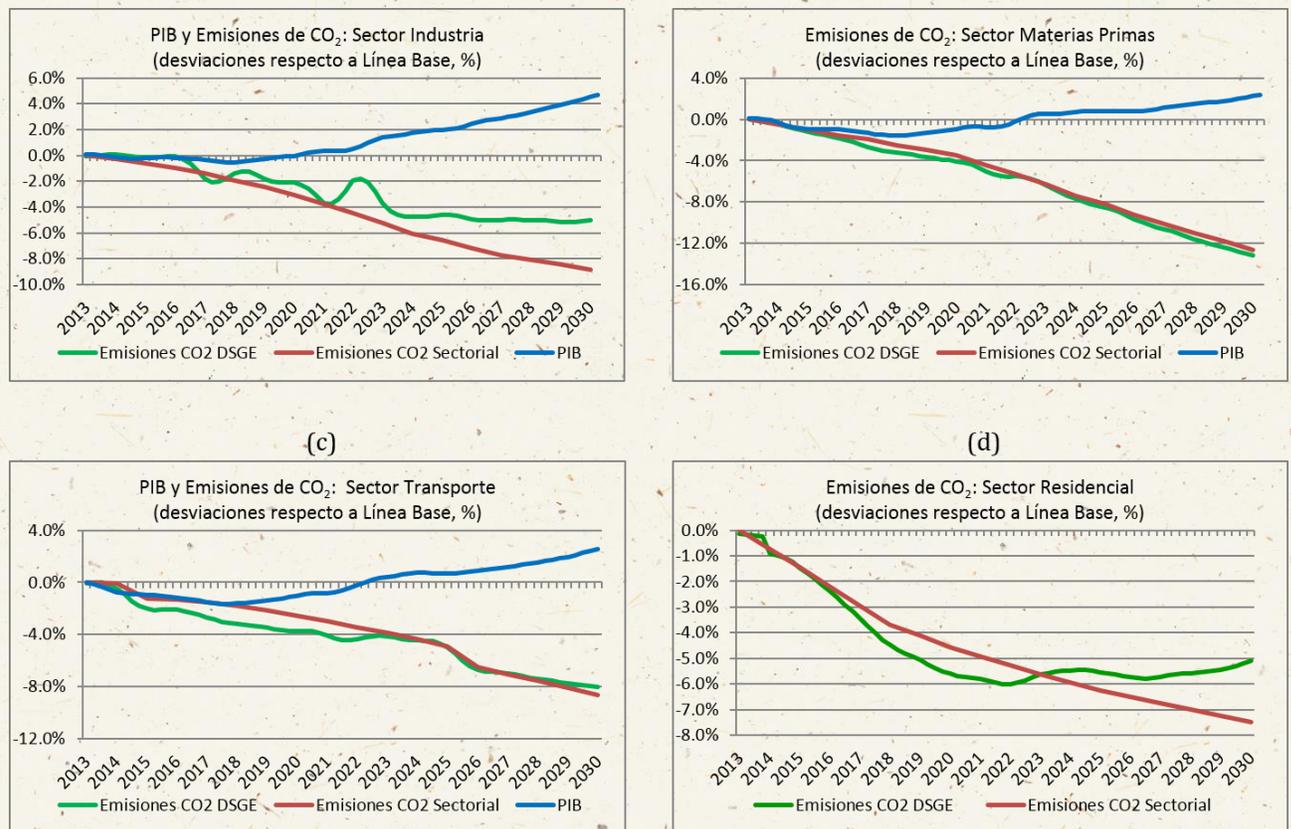


Figura 14: Resultados eficiencia energética sectorial

La Tabla 5 muestra que al igual que en el PIB, los efectos sobre el empleo en el escenario de eficiencia energética son menores a los estimados en los escenarios base y alto. Particularmente, el sector comercio presenta una desviación positiva de magnitud significativamente menor a la estimada en los otros escenarios.

Efecto sobre Empleo

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10.0%	-1.3%	1.6%
Construcción (2)	14.6%	2.8%	5.0%
Electricidad (3)	0.7%	-1.1%	-2.1%
Servicios Financieros (4)	1.8%	-0.9%	2.9%
Industria Manufacturera (5)	11.6%	0.3%	3.7%
Servicios Públicos (6)	20.8%	-2.1%	2.4%
Otros Servicios (7)	10.3%	-1.3%	1.5%
Transporte (8)	7.3%	-1.2%	2.0%
Comercio (9)	19.7%	-0.8%	2.9%
Materias Primas (10)	3.3%	-0.8%	2.0%
Total	100.0%	-0.8%	2.6%

Efecto sobre Empleo y Tasa de Desempleo

Año	Supuesto: tasa natural de desempleo (%)	Tasa de desempleo ¹ (%)	Cambio en el empleo (cantidad)
2020	8.0%	8.1%	-69.805
2030	8.0%	7.2%	242.480

(1) La relación entre tasa de desempleo y empleo no es directa porque la fuerza laboral es endógena en el modelo MEMO II,

(1) Incluye agricultura, caza, silvicultura y pesca,
 (2) Incluye construcción y actividades inmobiliarias,
 (3) Incluye electricidad, gas y agua,
 (4) Incluye servicios de intermediación financiera,
 (5) Incluye industria manufacturera,
 (6) Incluye administración pública, defensa, seguridad social, educación, salud y trabajo social, otros servicios comunitarios, sociales y personales,
 (7) Incluye servicio doméstico y otros servicios,
 (8) Incluye transporte, almacenamiento y telecomunicaciones,
 (9) Incluye ventas del comercio, reparaciones,
 (10) Incluye minería y explotación de canteras; productos minerales metálicos y no metálicos,

Tabla 5: Efecto sobre el empleo y tasa de desempleo

2.2. Resultados agregados escenario medio

Figura 4,1 (a)

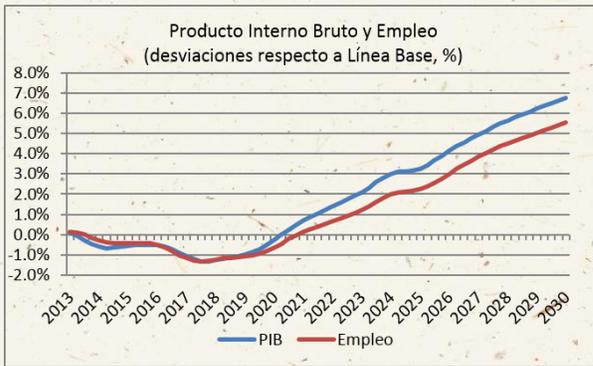


Figura 4,1 (b)

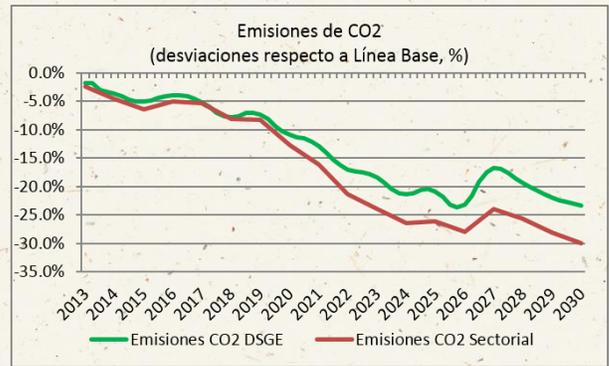


Figura 4,1 (c)

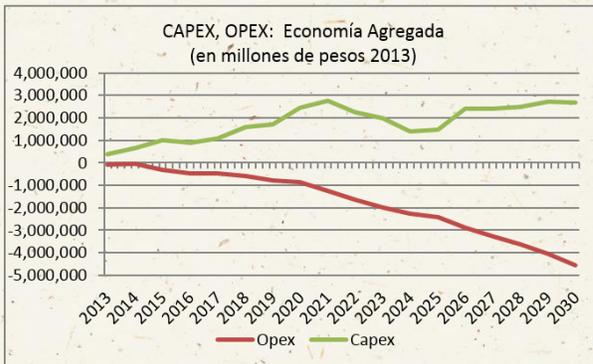


Figura 4,1 (d)

Escenario Medio: CAPEX y OPEX (% PIB de Línea Base)			
	2013	2020	2030
OPEX	-0,1%	-0,5%	-2,0%
CAPEX	0,3%	1,5%	1,2%

2.3. Resultados sectoriales escenario medio

Figura 4,2 (a)

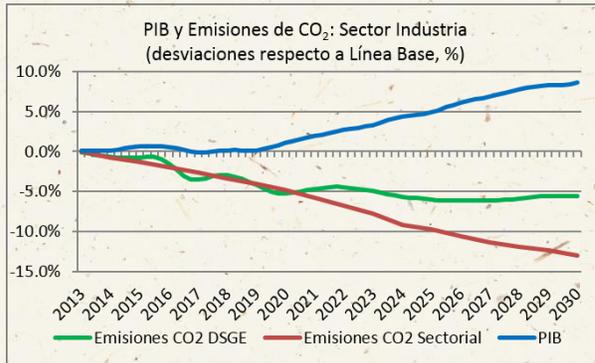


Figura 4,2 (b)

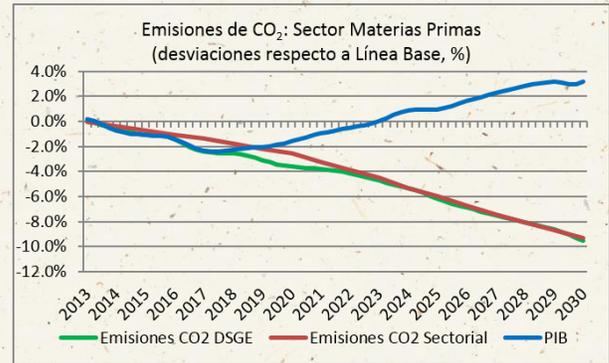


Figura 4,2 (c)

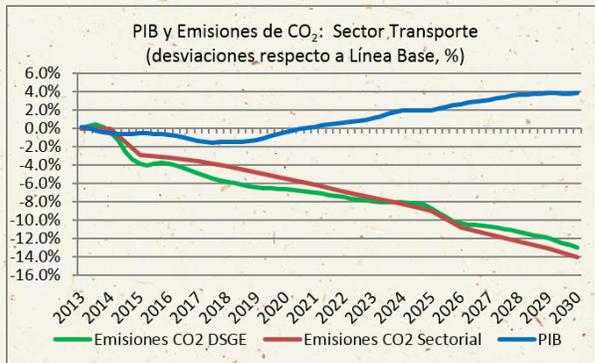


Figura 4,2 (d)

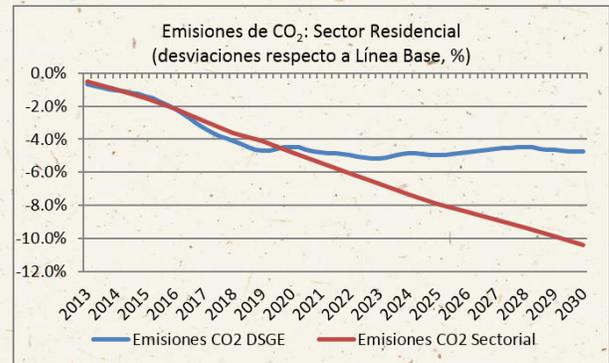


Figura 4.2 (d)

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10,0%	-0,5%	4,1%
Construcción (2)	14,6%	1,4%	7,2%
Electricidad (3)	0,7%	-27,4%	-1,2%
Servicios financieros (4)	1,8%	-0,5%	5,6%
Industria manufacturera (5)	11,6%	0,7%	9,7%
Servicios públicos (6)	20,8%	-1,1%	6,6%
Otros servicios (7)	10,3%	0,0%	4,3%
Transporte (8)	7,3%	-0,5%	2,3%
Comercio (9)	19,7%	-0,2%	5,5%
Materias primas (10)	3,3%	-2,1%	1,3%
Total	100,0%	-0,7%	5,5%

2.4. Resultados agregados escenario 80-20

Figura 4,3 (a)

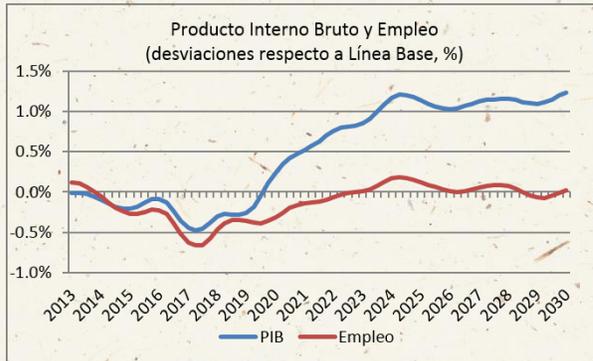


Figura 4,3 (b)

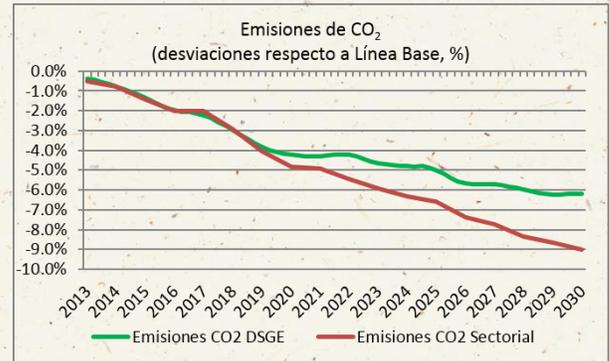


Figura 4,3 (c)

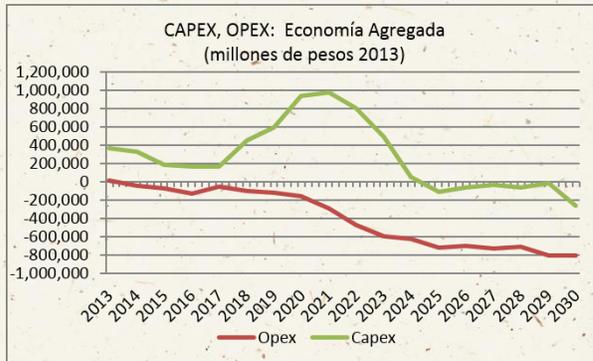


Figura 4,3 (d)

Escenario 80-20: CAPEX y OPEX (% PIB de Línea Base)			
	2013	2020	2030
OPEX	0,0%	-0,1%	-0,4%
CAPEX	0,3%	0,6%	-0,1%

2.5. Resultados sectoriales escenario 80-20

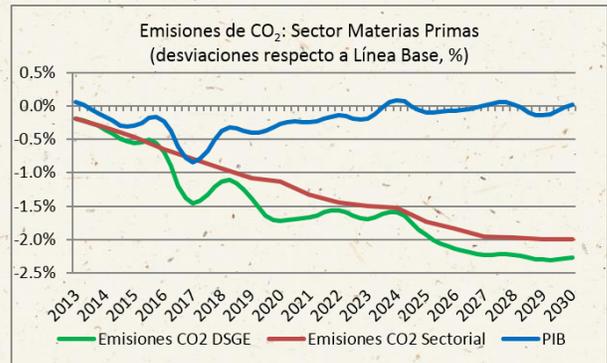
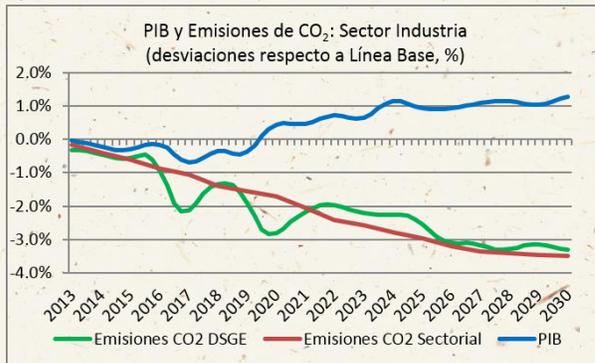


Figura 4,4 (c)

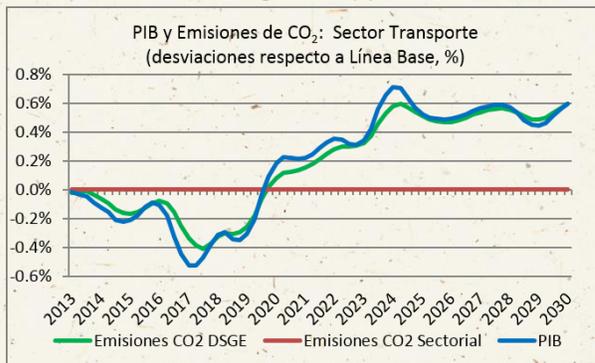


Figura 4,4 (d)

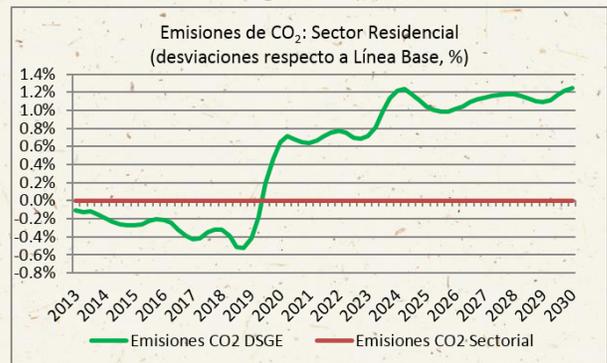


Figura 4.4 (e)

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10,0%	-0,3%	-0,9%
Construcción (2)	14,6%	0,8%	0,5%
Electricidad (3)	0,7%	-25,6%	-11,6%
Servicios financieros (4)	1,8%	-0,3%	-0,4%
Industria manufacturera (5)	11,6%	-0,2%	-0,5%
Servicios públicos (6)	20,8%	-0,1%	1,4%
Otros servicios (7)	10,3%	0,2%	-0,3%
Transporte (8)	7,3%	-0,3%	-0,8%
Comercio (9)	19,7%	0,0%	-0,1%
Materias primas (10)	3,3%	-0,7%	-1,4%
Total	100,0%	-0,3%	0,0%

2.6. Resultados agregados escenario ERNC

Figura 4,5 (a)

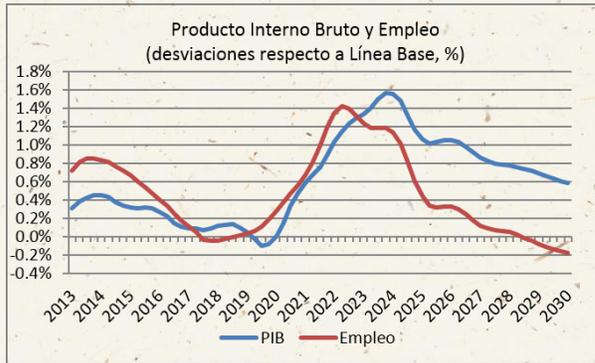


Figura 4,5 (b)

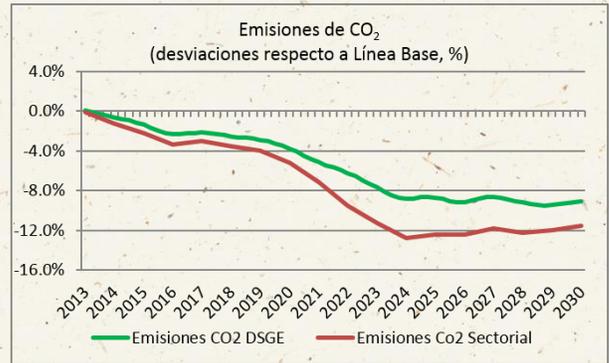


Figura 4,5 (c)

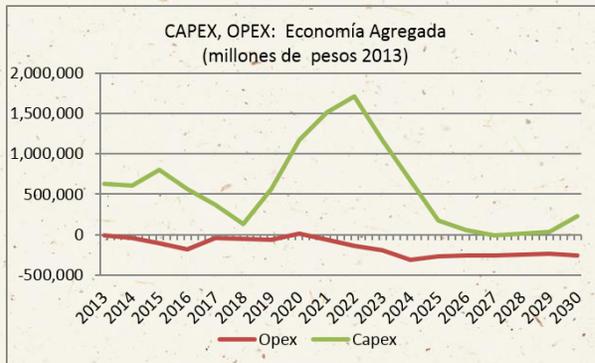


Figura 4,5 (d)

Escenario ERNC: CAPEX y OPEX (% PIB de Línea Base)			
	2013	2020	2030
OPEX	0,0%	0,0%	-0,1%
CAPEX	0,5%	0,7%	0,1%

2.7. Resultados sectoriales escenario ERNC

Figura 4,6 (a)

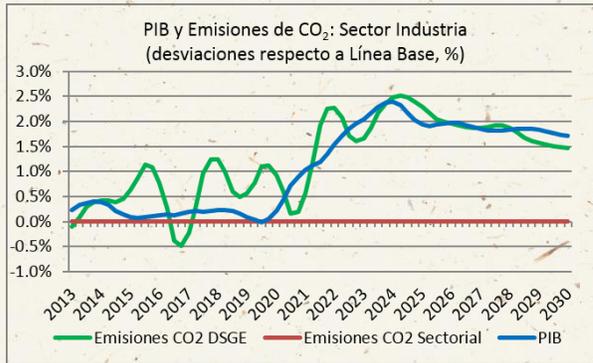


Figura 4,6 (b)

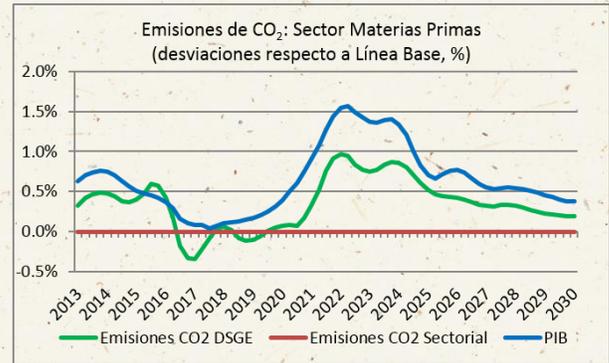


Figura 4,6 (c)

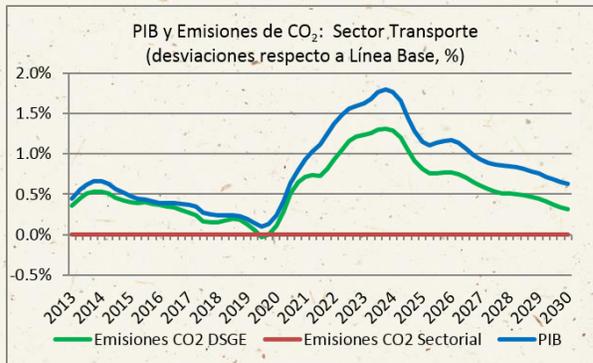


Figura 4,6 (d)

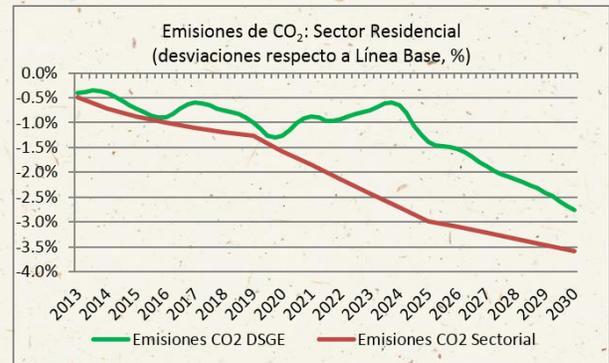


Figura 4.6 (e)

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10,0%	0,3%	-0,6%
Construcción (2)	14,6%	-0,1%	0,3%
Electricidad (3)	0,7%	-11,4%	-32,9%
Servicios Financieros (4)	1,8%	0,4%	-0,4%
Industria manufacturera (5)	11,6%	1,7%	2,1%
Servicios públicos (6)	20,8%	0,2%	0,6%
Otros servicios (7)	10,3%	0,7%	0,3%
Transporte (8)	7,3%	0,4%	-0,5%
Comercio (9)	19,7%	0,2%	-0,3%
Materias primas (10)	3,3%	0,6%	-0,9%
Total	100,0%	0,3%	-0,2%

2.8. Resultados agregados escenario energías renovables

Figura 4,7 (a)

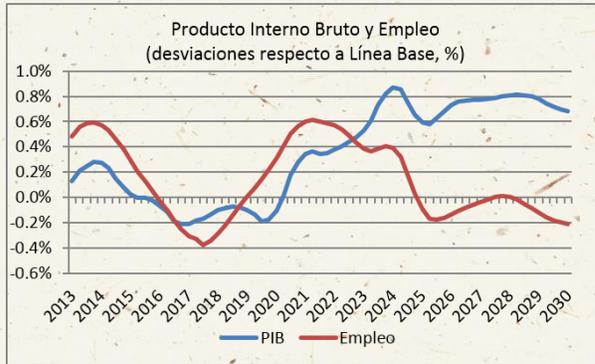


Figura 4,7 (b)

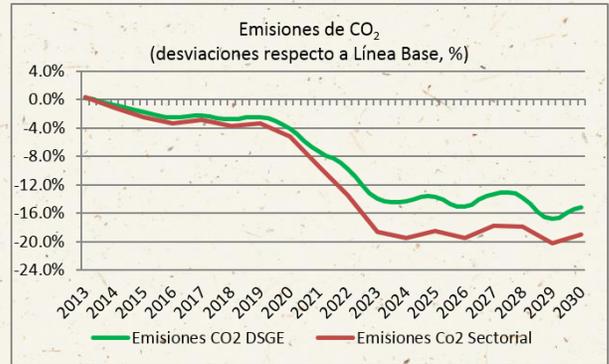


Figura 4,7 (c)

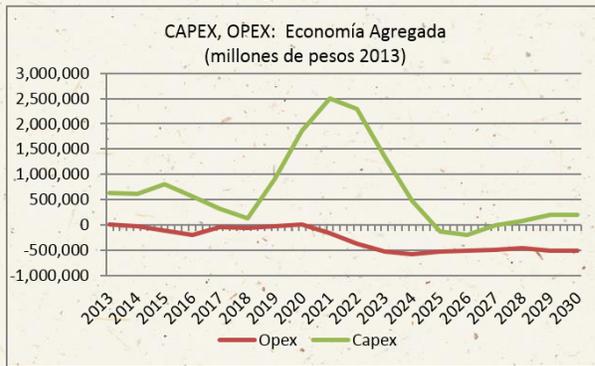


Figura 4,7 (d)

Escenario ER: CAPEX y OPEX (% PIB de Línea Base)			
	2013	2020	2030
OPEX	0,0%	0,0%	-0,2%
CAPEX	0,5%	1,2%	0,1%

2.9. Resultados sectoriales escenario energías renovables

Figura 4,8 (a)

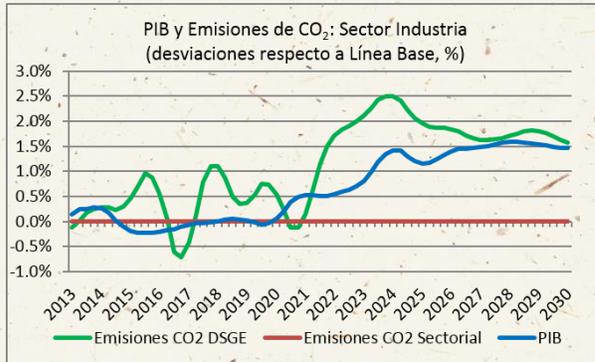


Figura 4,8 (b)

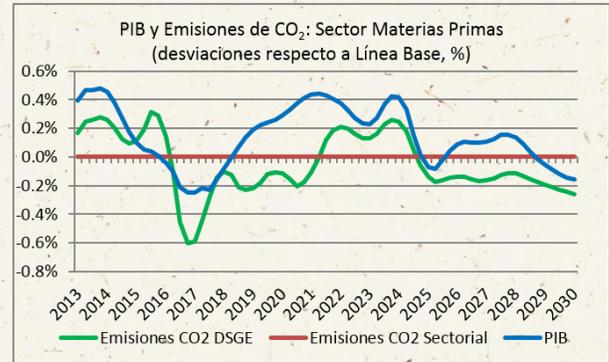


Figura 4,8 (c)

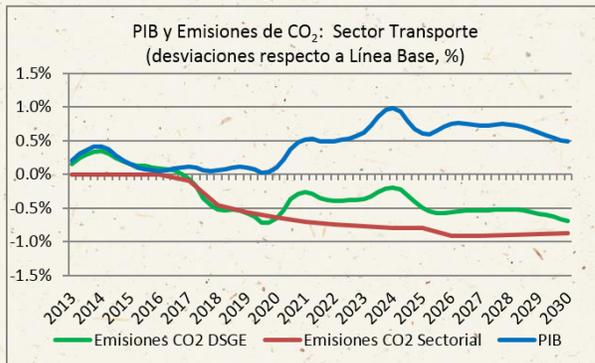


Figura 4,8 (d)

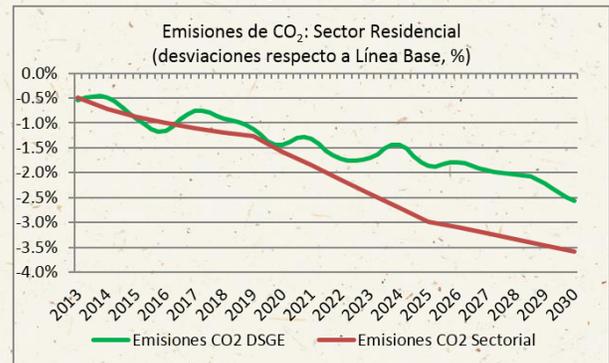


Figura 4.8 (e)

Sector	Participación empleo año 2012 (% del total)	Desviación a LB año 2020 (%)	Desviación a LB año 2030 (%)
Agricultura(1)	10,0%	0,3%	-0,9%
Construcción (2)	14,6%	0,5%	0,7%
Electricidad (3)	0,7%	-11,0%	-24,0%
Servicios financieros (4)	1,8%	0,4%	-0,5%
Industria manufacturera (5)	11,6%	1,7%	1,9%
Servicios públicos (6)	20,8%	0,1%	0,5%
Otros servicios (7)	10,3%	0,7%	0,1%
Transporte (8)	7,3%	0,4%	-0,8%
Comercio (9)	19,7%	0,2%	-0,5%
Materias primas (10)	3,3%	0,7%	-1,5%
Total	100,0%	0,3%	-0,2%

2.10. Resultados agregados impuesto al carbono: US\$10, US\$40 y US\$50

Figura 4,9 (a)

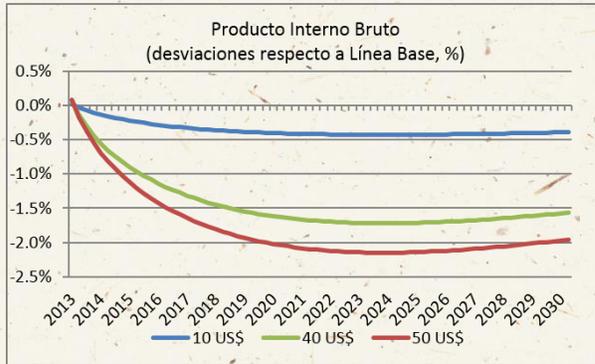
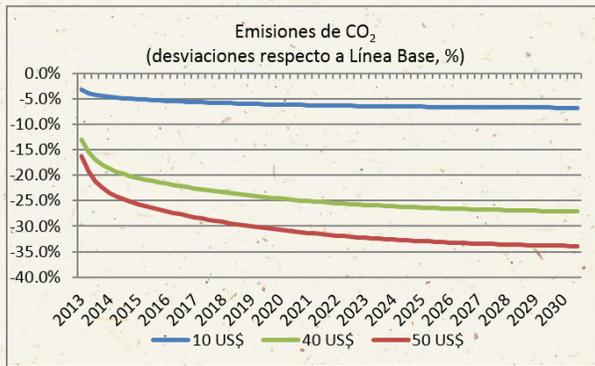


Figura 4,9 (b)



Figura 4,9 (c)



G. Referencias

- [1] INSTITUTE FOR STRUCTURAL RESEARCH (IBS), “MEMO II – a DSGE model as a climate policy assessment tool”. Estudio Proyecto MAPS Chile y Ministerio de Hacienda, febrero 2014.
- [2] MAPS CHILE, “Estimación de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de medidas tempranas implementadas entre 2007-2013”, Estudio Proyecto MAPS Chile, agosto 2014 (disponible en sitio www.mapschile.cl).