

Acerca de los Costos de las Medidas de Mitigación analizados en el proyecto MAPS Chile

Fecha: Marzo 2016

Cita sugerida: MAPS Chile, 2016. Acerca de los Costos de las Medidas de Mitigación analizados en el proyecto 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

Acerca de los Costos de las Medidas de Mitigación analizados en el proyecto MAPS Chile

A.	Introducción.....	6
1.	Los costos asociados a medidas de mitigación	6
1.1	Tipos de costos según quién paga	6
1.2	¿Cómo se trabajaron los costos en la modelación de MAPS Chile?	7
1.3	Resultados del escenario Esfuerzo Base	9
1.4	Costos totales en el horizonte temporal de análisis.....	10
B.	Conclusiones	13

A. Introducción

Una preocupación común en el análisis de medidas de mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son los costos asociados a su desarrollo e implementación. Este documento explica el análisis de costos que ha realizado el proyecto MAPS Chile, profundiza en el ejercicio realizado, explicita los escenarios simulados y presenta el enfoque y la metodología llevada a cabo. De esta forma, se busca contribuir con evidencia sobre los costos estimados de la mitigación en el país y el alcance de los mismos¹.

1. Los costos asociados a medidas de mitigación

Las medidas de mitigación de emisiones de GEI tienen asociados costos que pueden ser divididos desde el punto de vista de su naturaleza en:

- Gastos de capital (CAPEX por sus siglas en inglés)
- Gastos operacionales (OPEX por sus siglas en inglés)

Los gastos de capital corresponden a gastos que involucren inversiones. Por ejemplo, la compra de paneles fotovoltaicos para generar energía utilizando energía solar o la compra de motores eléctricos para reemplazar motores convencionales.

Los gastos operacionales se refieren a costos adicionales a los que se incurren debido a la operación bajo una medida de mitigación. Éstos son positivos si se incrementan los costos operacionales o negativos si se generan ahorros de costo en relación a un caso de referencia. Por ejemplo, incrementar el aislamiento térmico de residencias y oficinas genera un ahorro en el gasto de climatización de esas construcciones o bien la introducción de energías renovables reduce el consumo de combustibles fósiles en centrales eléctricas térmicas.

1.1 Tipos de costos según quién paga

Desde la perspectiva del financiamiento, algunos costos pueden ser atribuidos al sector privado, otros al sector público (gasto fiscal) y otros pueden ser pensados como una forma de financiamiento mixto (por ejemplo: medidas de eficiencia energética como el reacondicionamiento térmico de viviendas que aprovecha el subsidio del Programa de Protección del Patrimonio Familiar).

Hay costos (o bien ahorros) que podrían traspasarse a tarifa de los consumidores y que no implican mayor gasto público (inversiones en el sector de generación de energía eléctrica en Chile), mientras que otros requieren generalmente de un gasto fiscal para que sucedan (infraestructura para bicicletas y electro movilidad para taxis) mediante algún tipo de subsidio u otra herramienta de política.

¹ Gobierno de Chile. (2014b). Resultados de MAPS Chile Fase 2: Opciones de Mitigación para enfrentar el Cambio Climático. Recuperado desde http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/12/ResultadosdeFase2_MAPSChile.pdf

Asimismo, existen medidas-costo efectivas en el sentido de que los privados las podrían implementar sin intervención fiscal, ya que los beneficios de una inversión estarían dados por ahorros de costo (mejoras aerodinámicas en el sector transporte). Lo anterior podría ser discutible en el caso de existir barreras de entrada al mercado o externalidades no incluidas en la modelación de los costos.

1.2 ¿Cómo se trabajaron los costos en la modelación de MAPS Chile?

MAPS Chile buscó realizar un análisis de los costos de las medidas de mitigación desde distintas perspectivas. En la literatura clásica sobre la materia se hace uso de las denominadas “curvas marginales de costo de abatimiento (MAC de sus siglas en inglés)”, las que ordenan en forma creciente, según costo de abatimiento (\$/ton CO_{2eq}), las distintas medidas de mitigación, incluido el potencial de abatimiento de cada medida. Este cálculo se realiza usualmente para distintos cortes temporales. La siguiente figura ejemplifica este tipo de análisis (las barras corresponderían a distintas medidas de mitigación):

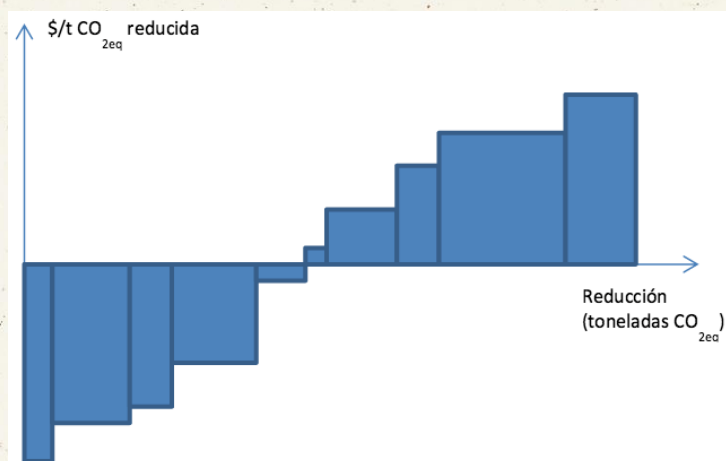


Figura 1: Curvas marginales de costo de abatimiento

Si bien MAPS Chile realizó una ficha explicativa para cada medida de mitigación seleccionada, incluyendo una estimación de costos y potencial de abatimiento, se descartó el uso de curvas MAC como herramienta de análisis de costos de los escenarios de mitigación principalmente por las siguientes razones:

- En las curvas MAC no se considera explícitamente el **efecto de interacción entre las medidas** de mitigación para distintos escenarios de mitigación. Un escenario corresponde –en el caso de MAPS Chile– a un conjunto de medidas de mitigación agrupadas según ciertos criterios y seleccionadas por el Grupo de Construcción de Escenarios del proyecto². A modo de ejemplo, medidas de promoción de tecnologías de generación renovable de

² El proceso MAPS Chile involucró a equipos consultores sectoriales –del orden de 50 profesionales en total–, a un Grupo de Construcción de Escenarios –más de 60 personas–, a grupos técnicos de trabajo –más de 100 personas de distintos sectores productivos del país–, el comité directivo –14 profesionales de 7 Ministerios– y el equipo profesional del proyecto –12 profesionales de distintas disciplinas.

electricidad pueden ser redundantes al considerar una cuota mínima de introducción de energía renovable para un año determinado. Por otro lado, distintas combinaciones de medidas de mitigación en el sector eléctrico, se traducen en distintos precios de la energía, lo que a su vez impacta en el OPEX calculado para cada medida en la curva MAC. Lo anterior podría invalidar una curva MAC, ya que la selección secuencial de medidas obligaría a un recálculo de la curva con el fin de ser coherente con los costos esperados de un escenario específico.

- Las curvas MAC son **esencialmente estáticas**, con lo cual los cortes temporales de las curvas MAC dificultan entender el **impacto de escenarios de mitigación a través del tiempo**.
- Las curvas MAC del tipo *Expert-based* usualmente no consideran criterios adicionales de **factibilidad de implementación** de una medida, basado en co-impactos de las mismas, viabilidad política, incertidumbres relevantes, etc. Este criterio podría alterar el orden sugerido de implementación de medidas, no respetando el orden propio de una curva MAC, basado solamente en costos crecientes de abatimiento. Con lo anterior, el principal objetivo de las curvas MAC se desvirtúa al menos en forma gráfica.
- Las curvas MAC no dimensionan el **efecto macroeconómico de un escenario de mitigación**, considerando las interacciones entre los distintos sectores de la economía nacional.

En definitiva, los análisis de costos basados en las curvas MAC convencionales capturan solo parcialmente la complejidad del problema modelado y, por tanto, sus conclusiones pierden robustez.

Para afrontar esta limitante, MAPS Chile desarrolló una metodología de modelación que se basa en la definición de 9 escenarios de mitigación, cada uno determinado a través de un **proceso participativo** para cada medida, además de los **costos de abatimiento** esperados y su **potencial de mitigación**. Adicionalmente, se integró un juicio sobre su **factibilidad de implementación**.

Los escenarios de mitigación definidos por el proceso MAPS Chile corresponden a: Esfuerzo base, Esfuerzo medio, Esfuerzo alto, Eficiencia energética, Energías renovables no convencionales, Energías renovables, Energía nuclear, 80/20 e Impuesto al carbono.

Cada uno de estos escenarios fue evaluado a partir de la modelación conjunta de 7 sectores de la economía (generación y transporte de electricidad; transporte y urbanismo; sector comercial, público y residencial; industria y minería; agropecuario y cambio de uso de suelo; forestal y cambio de uso de suelo; residuos antrópicos). De esta forma, los modelos sectoriales permiten capturar la **interacción entre las medidas de mitigación** y su **representación a través del tiempo**.

El resultado central de estas simulaciones es el cálculo de las emisiones sectoriales junto con los CAPEX y OPEX, para cada sector y cada año del horizonte de simulación. Cabe señalar que los CAPEX y OPEX calculados de esta forma no corresponden necesariamente a la suma de CAPEX y OPEX calculados en forma referencial en las fichas asociadas a cada medida, ya que justamente en este caso se cautelan los efectos de interacción entre éstas. Su cálculo resulta de comparar la evolución de cada sector en relación a una Línea Base tendencial calculada previamente para cada sector.

Adicionalmente, MAPS Chile integra los resultados de los modelos sectoriales en un modelo macroeconómico especialmente diseñado y calibrado para la economía nacional. Técnicamente, el tipo de modelación macroeconómica corresponde a uno de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE, por sus siglas en inglés). El modelo de equilibrio general desarrollado permite

estimar los impactos macroeconómicos (PIB, empleo) y las emisiones de GEI, considerando la interacción que existe entre los distintos agentes de la economía cuando se implementa un escenario de mitigación. Este trabajo de modelación macroeconómica lo lideró el Instituto de Análisis Estructural (IBS) de Polonia, con amplia experiencia en modelación económica y en la mitigación del cambio climático.

1.3 Resultados del escenario Esfuerzo Base

La figura 2 presenta los principales resultados en cuanto a las trayectorias de emisiones para los distintos escenarios analizados por el proyecto MAPS Chile³.

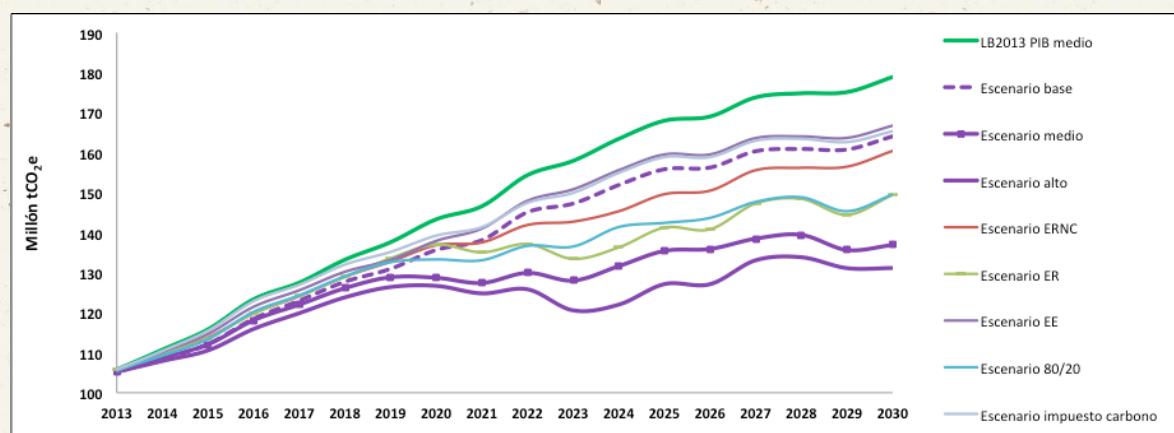


Figura 2: Emisiones estimadas para los distintos escenarios de mitigación (excluyendo capturas del sector forestal)

Con el fin de ejemplificar el análisis de costos realizado, se ha tomado como referencia el escenario de Esfuerzo Base simulado por MAPS Chile (línea lila segmentada en la Figura 2).

Esfuerzo Base: empaquetamiento de un conjunto de medidas de bajo costo de abatimiento y alto nivel de factibilidad con una reducción de un 28,4% de la intensidad de emisiones medida en toneladas de CO₂ por unidad de PIB en millones de pesos del año 2011.

A continuación, se presenta el análisis de costos para el escenario de Esfuerzo Base de MAPS Chile. Cabe hacer notar que este escenario fue evaluado con la mejor información disponible a la fecha de realización de los análisis y con los supuestos que los expertos definieron como adecuados para éste (entre los expertos están todos los participantes del proceso MAPS Chile).

El escenario incluye medidas de mitigación que, en caso de ser modificadas (por ejemplo, en términos de sus intensidades de aplicación) o no implementadas, alterarían los niveles de mitigación esperados y, por lo mismo, debiesen ser sustituidas. Asimismo, el retiro o agregación de medidas de mitigación también cambia los CAPEX, OPEX y los efectos económicos estimados para el escenario en su conjunto.

³ Estos resultados no consideran las capturas del sector forestal.

En la figura 3, se muestra un gráfico con los CAPEX y los OPEX que han sido estimados para el conjunto de medidas que constituyen el Escenario de Esfuerzo Base. La tabla, a continuación, presenta el listado completo de medidas de mitigación consideradas en este escenario.

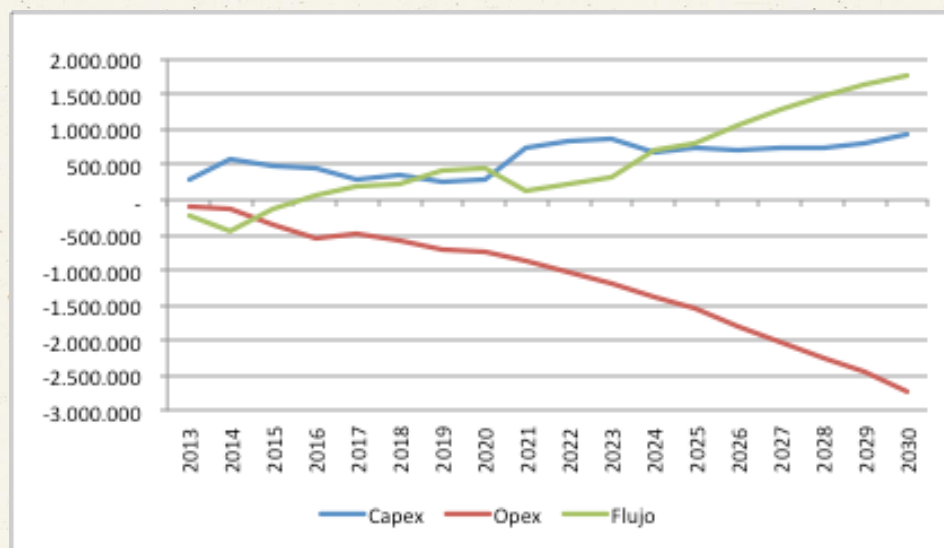


Figura 3: CAPEX y OPEX del Escenario de Esfuerzo Base (MM\$ del 2013)

1.4 Costos totales en el horizonte temporal de análisis

Del gráfico anterior, se desprende que resulta fundamental evaluar los costos asociados a una medida de mitigación en el horizonte de tiempo total de modelación de la medida. Fundado en el cálculo de costos realizado para cada medida de mitigación (horizonte 2013-2030)⁴ y cada escenario estudiado por MAPS, es factible realizar un análisis de los costos totales y del impacto económico según los siguientes criterios:

- **Criterio VAN:** Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) de los CAPEX y OPEX obtenidos para los escenarios como un todo, incluidas las interacciones entre medidas de mitigación, para distintas tasas de descuento (3%, 6% y 10%).
- **Criterio costo fiscal:** Estimación de costos fiscales involucrados para cada escenario expresado anualmente. Este análisis se debe realizar medida por medida en función de los criterios específicos de implementación de la misma. A modo de ejemplo, en los casos que el VAN es negativo se puede inferir que se trata de una medida que requiere de alguna intervención por parte del Estado, ya que por sí misma no es rentable o costo efectiva. Asimismo, la mayoría de las medidas de mitigación requieren de aportes fiscales para la puesta en marcha (normativa, promoción), monitoreo y fiscalización de las mismas.

⁴ El horizonte 2013 – 2030 fue seleccionado con el fin de poder incursionar en los efectos de mediano plazo de las medidas. Si bien los estudios sectoriales desarrollaron cálculos hasta el horizonte 2050, el horizonte de tiempo 2031-2050 no fue considerado en las evaluaciones ya que la incertidumbre asociada a los resultados era mucho mayor.

- **Análisis Macroeconómico:** Estimación de los efectos macroeconómicos de cada escenario en términos de su efecto en el PIB y empleo.

En la tabla 1, se resumen los resultados del Criterio VAN para el Escenario Base (horizonte de análisis 2015-2030):

Escenario Esfuerzo Base	Resultado [millones de pesos de 2011]	Resultado [millones de USD 2011]
VAN con tasa de un 3%	7.719.836	15.961
VAN con tasa de un 6%	5.533.993	11.442
VAN con tasa de un 10%	3.665.063	7.578

Tabla 1: Resultados del criterio VAN para Escenario Base (2015-2030)

De la tabla, se aprecia que en todos los valores de tasa de descuento resulta un VAN positivo, lo que significa que el Escenario de Esfuerzo Base genera ahorros y no costos.

Ejemplos de medidas que podrían imputar costos fiscales en el Escenario de Esfuerzo Base se resumen en la tabla 2. El análisis sólo es de carácter cualitativo dada la dificultad de asignar costos fiscales específicos en cada caso.

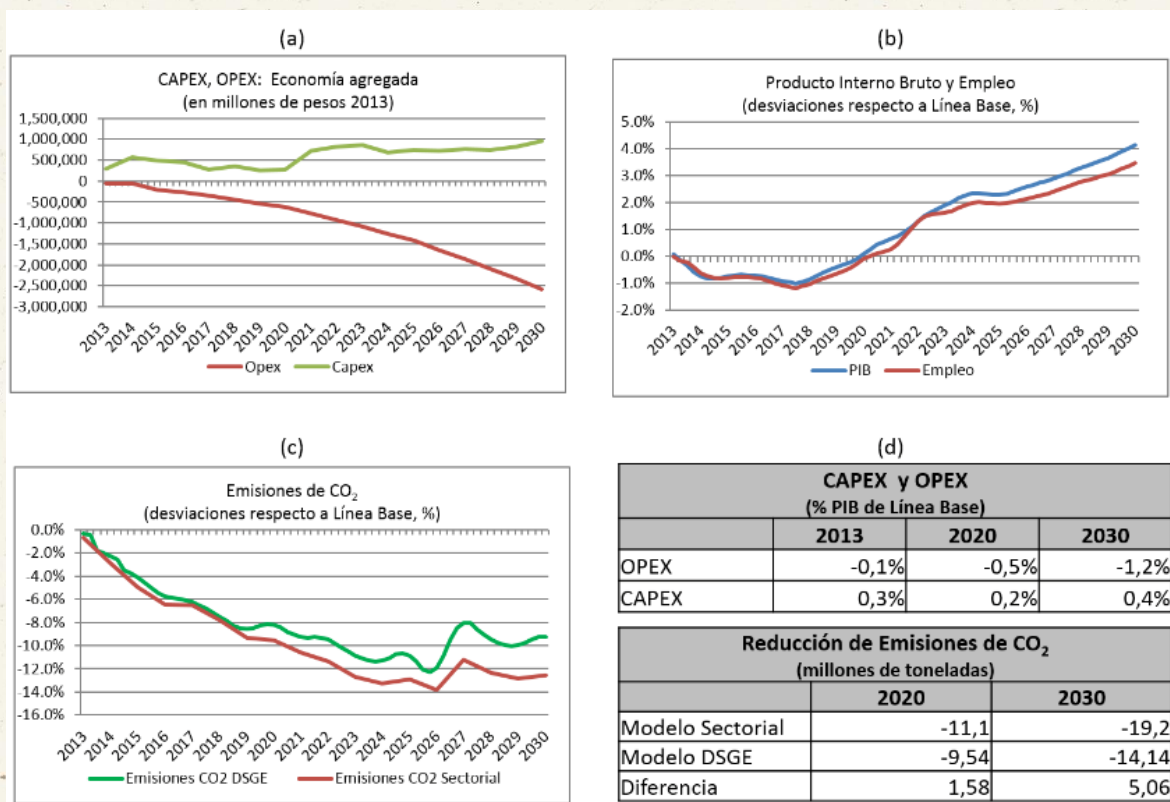
Sector	Medidas consideradas
Transporte	Infraestructura modo bicicleta
	Programa de subvención a bicicletas eléctricas (N3)
	Implementación de infraestructura en el transporte público
Agropecuario	Mejoramiento de la dieta de alimentación en bovinos
CPR	Programa de recambio de aireadores
	Programa de adopción de sistemas solares térmicos
Residuos	Compostaje domiciliario
	Compostaje de RSM provenientes de ferias libres
	Compostaje en planta

	Aumento de captura y quema de biogás con antorchas
	Generación eléctrica con biogás en rellenos sanitarios
Forestal	Fomento a la forestación

Tabla 2: Ejemplos de medidas que podrían imputar costos fiscales – Escenario Esfuerzo Base

En el caso del sector **Generación Eléctrica, los flujos son positivos en el período 2015-2030**, por lo que se considera que no existe subsidio fiscal en este escenario.

Un ángulo diferente del análisis costo-beneficio es la estimación de los efectos macroeconómicos de los escenarios de mitigación. El modelo macroeconómico permite analizar el efecto de equilibrio general de implementar un determinado escenario. En la figura 4, se muestran los resultados para el Escenario de Esfuerzo Base. La figura 4 (a) presenta los resultados sobre costos de inversión y operación (CAPEX y OPEX). La figura 4 (b) presenta el resultado en cuanto a PIB; puede verse que sufre una desviación negativa máximo cercana a 1% (en 2018) respecto a la Línea Base, que luego se revierte y llega a cerca de un 4% hacia 2030. La figura 4 (c) presenta los resultados de emisiones, tanto para la estimación mediante la modelación sectorial (línea roja) como la que resulta del modelo de equilibrio general (línea verde). La figura 4 (d) presenta los resultados de CAPEX y OPEX como porcentaje de variación de la situación esperada en la Línea Base (sin considerar medidas de mitigación), así como las reducciones de emisiones.



Fuente: MAPS Chile.

Figura 4: Resultados agregados del escenario de mitigación de esfuerzo base

B. Conclusiones

La información generada por el equipo MAPS Chile –a partir del estudio realizado por investigadores y expertos sectoriales que, con su juicio, permitieron afinar y robustecer la modelación – constituye evidencia para apoyar la toma de decisiones de política pública.

Los escenarios de mitigación de MAPS Chile entregan una indicación de los potenciales de abatimiento de Gases de Efecto Invernadero, sus costos y los impactos macroeconómicos para el país, en términos del impacto sobre el PIB y el empleo. Los resultados de MAPS Chile no constituyen un plan de acción del Gobierno.

Los resultados del análisis económico del Escenario Base se pueden resumir en lo siguiente:

- La **inversión total** es del orden de **US\$1.200 millones anuales** (costo anual equivalente) durante el periodo 2015-2030. Esto representa un **0,5% del PIB 2015**. Dicha inversión produce **ahorros del orden de US\$2.300 millones anuales** (costo anual equivalente). Esto representa un **0,9% del PIB del 2015**.
- Los ahorros están principalmente asociados a la reducción del consumo de electricidad y combustibles fósiles. Exisitirán otros ahorros, no cuantificados aún, respecto de la reducción de la contaminación local y por ende reducción de gastos en salud para el sector privado y público.
- El **flujo total calculado** indica que, para implementar las medidas incluidas en el Escenario de Esfuerzo Base de MAPS Chile, considerando el país como un todo, no hay un costo neto, sino que se generan ahorros netos. Sin embargo, en algunos sectores existirán costos y en otros ahorros. Esto se demuestra en un **efecto positivo sobre el PIB, del orden de 4,1% al 2030** (como porcentaje de variación respecto de la Línea Base).
- Asimismo, se verá un **efecto positivo sobre el empleo de 3,5%** (respecto de la situación de Línea Base), lo que representa la creación de 320.000 puestos de trabajo al 2030.

En lo que respecta a los costos adicionales para el Estado y los privados, existe una serie de medidas que ya han sido implementadas por iniciativa del gobierno o por la inercia del mercado, por lo que no representan un costo adicional para el país. En este sentido, medidas como el esfuerzo adicional en ERNC se han cumplido sobre la base de la evolución del mercado mundial (reducción de costos de la tecnología), mientras que la adopción de sistemas solares térmicos y MEPS para refrigeradores o iluminación residencial ya han sido implementadas por iniciativa gubernamental⁵.

Cualquier indicación de costos o niveles de mitigación para el país depende fuertemente de los parámetros y modelos utilizados. Es por ello que MAPS Chile generó un proceso participativo de cuatro años (Fase 2 de un año y medio), con el fin de definir parámetros de entrada y criterios de modelación que fueran de consenso para un grupo de construcción de escenarios y un amplio grupo de especialistas.

En ello radica la robustez de los resultados entregados y descritos anteriormente. En el transcurso del proceso MAPS Chile se revisaron múltiples estudios de distintos actores del sector, los que fueron integrados a la discusión en relación a sus formas de modelar y parámetros utilizados.

⁵ Extensión de la Ley 20.365, franquicia tributaria para SST; Resolución Exenta N° 74 de enero de 2015 y N° 60 de diciembre de 2014, en el caso de los MEPS.

Todos los detalles de modelación del proyecto MAPS Chile se encuentran disponibles en la página web www.mapschile.cl, por lo que para cada actor es factible verificar e informar dónde radican eventuales diferencias de resultados obtenidas a través de modelos propios. En función de ello, el equipo MAPS Chile puede pronunciarse formalmente sobre el origen de eventuales diferencias y el valor de la nueva evidencia presentada.

Sin duda, la información sobre parámetros relevantes de modelación en un ejercicio de este tipo es dinámica y requiere de revisiones permanentes. Un ejemplo de aquello es la proyección del PIB. De este modo, el país debería hacer ejercicios de este tipo con una cierta periodicidad (por ejemplo, cada 5 años) de modo de ajustar los parámetros de modelación a las realidades observadas.