



Oportunidades de crecimiento verde para la meta de descarbonización en Chile

Informe sobre los efectos macroeconómicos de implementar políticas de mitigación de cambio climático en Chile





Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile, Marzo de 2020.

Oportunidades de crecimiento verde para la meta de descarbonización en Chile

Informe sobre los efectos macroeconómicos de implementar políticas de mitigación de cambio climático en Chile

- Marek Antosiewicz
- Luis E. Gonzáles Carrasco
- Piotr Lewandowski
- Nicolás de la Maza Greene



Derechos y permisos

Este trabajo es un producto del personal del Banco Mundial desarrollado con contribuciones externas. Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresados en este trabajo no reflejan necesariamente los puntos de vista del Banco Mundial, su Directorio Ejecutivo o los Gobiernos que representan. El Banco Mundial no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este trabajo. Los límites, colores, denominaciones y otra información mostrada en cualquier mapa en este trabajo no implican ningún juicio por parte del Banco Mundial con respecto al estado legal de cualquier territorio o el respaldo o la aceptación de dichos límites. El material en este trabajo está sujeto a derechos de autor. Debido a que el Banco Mundial fomenta la difusión de sus conocimientos, este trabajo puede reproducirse, en todo o en parte, con fines no comerciales, siempre que se otorgue la atribución completa a este trabajo. Para todos los demás usos, envíe un correo electrónico a:

pubrights@worldbank.org

© 2020 Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial

1818 H Street NW, Washington DC, 20433

Teléfono: 202-473-1000; Internet: www.worldbank.org

RESUMEN

Este estudio presenta los resultados de simulaciones efectuadas con un modelo económico de equilibrio general dinámico y estocástico mostrando los efectos macroeconómicos de la implementación de políticas de mitigación del cambio climático en Chile. Estas medidas están destinadas a reducir las emisiones de CO₂eq de acuerdo con la última Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile (NDC por sus siglas en inglés) y el objetivo de carbono neutralidad para el 2050. Usando este modelo multisectorial, el estudio evidencia que la implementación del paquete de políticas de mitigación propuesto por los Ministerios de Energía y Medio Ambiente puede tener un impacto general positivo en la economía tanto en el corto como largo plazo. El resultado es medido por el efecto en los indicadores económicos tales como el producto interno bruto (PIB), la inversión, el consumo y el valor agregado esperado en los sectores económicos donde se realizan las mitigaciones. Uno de los canales por donde se producen estas ganancias es a través de la disociación del crecimiento económico y la reducción de emisiones, desincentivando el uso de combustibles fósiles.

De acuerdo con el análisis realizado, el nivel de PIB esperado para el 2050, puede aumentar hasta un 4,4% si se compara con el escenario de referencia. Esto se explica por una tasa de crecimiento más alta de 0,13 puntos porcentuales (p.p.). Se espera que la principal contribución al PIB sea explicada por un mayor consumo e inversión privados, con un estimado de 2,4% y 1,7% respectivamente. La implementación del paquete de mitigación propuesto podría resultar en implicaciones económicas y financieras positivas, lo que podría aumentar la posibilidad de una participación espontánea del sector privado. Sin embargo, este estudio abre nuevas preguntas y discusiones pendientes más allá de la modelación, relacionadas con limitaciones para la realización de las medidas de mitigación en escenarios más a corto que a largo plazo. La falta de condiciones habilitantes y restricciones a una mayor asociación público-privada podrían obstaculizar una transición espontánea, implicando un riesgo de fallas de mercado. Trabajos futuros deben concentrarse en la forma de financiamiento de las medidas de mitigación propuestas, considerar posibles limitaciones de la economía política, incluir los riesgos e incertidumbres de inversión y evaluar instrumentos necesarios para la implementación de los objetivos climáticos y el plan de trabajo relacionado.

El análisis de sensibilidad muestra que un retraso en la introducción de medidas pone en riesgo el logro de emisiones netas cero en 2050, destacando la importancia de actuar ahora. El estudio también muestra que la sobreestimación de los valores de ahorro de OPEX podría tener un mayor impacto en las emisiones y el nivel del PIB que la subestimación de los gastos de capital necesarios. También es importante resaltar las suposiciones y sesgos detrás del ejercicio de modelado. Como insumo al modelo económico, las medidas de mitigación se simulan de forma independiente perdiendo las posibles interacciones y sus efectos, y los resultados pueden cambiar según el tipo de financiamiento, cierre presupuestario e información sobre el CAPEX - OPEX. Además, los datos de referencia para el modelo se construyeron antes de la crisis social del país que comenzó en octubre de 2019 y, más recientemente, los principales impactos de la pandemia COVID-19. Por lo tanto, las simulaciones del estudio deben ser consideradas como una guía y una herramienta de referencia para comprender los impactos de las políticas de mitigación climática sobre las variables macroeconómicas. El estudio reconoce un grado de incertidumbre sobre los costos de capital asociados con cada medida y requeriría actualizaciones periódicas para poder utilizarlo como una herramienta sistemática en la selección de medidas de mitigación.

Palabras Claves:

mitigación de cambio climático, modelación DSGE, economía ambiental, transición con bajos niveles de carbono, costos de transición, carbono neutralidad

- Institute for Structural Research, Poland and Warsaw School of Economics. e-mail: marek.antosiewicz@ibs.org.pl
- Clapes UC. e-mail: lwgonzal@uc.cl
- Institute for Structural Research, Poland. e-mail: piotr.lewandowski@ibs.org.pl
- Ministerio de Hacienda, Chile. e-mail: ndelamaza@hacienda.gov.cl

Prefacio Ex Ministro, Ministerio de Hacienda Felipe Larraín

PROFESOR EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA, MIEMBRO DEL COMITÉ EJECUTIVO DEL CENTRO LATINOAMERICANO DE POLÍTICAS ECONÓMICAS Y SOCIALES UC (CLAPES UC)



Chile es consciente de la necesidad de una transición a una economía baja en carbono enfocada en la recuperación social y económica, la cual debe ser resiliente a los impactos del cambio climático. Este esfuerzo del Gobierno es parte de los objetivos para lograr un desarrollo sostenible, con mayor eficiencia, competitividad, equidad y crecimiento económico.

El no actuar de manera rápida y efectiva tendrá importantes impactos económicos y financieros, dejando a nuestra sociedad expuesta a diferentes riesgos. Sin embargo, al mismo tiempo, nuevas oportunidades surgen con la transformación y transición hacia una economía baja en carbono acompañada por un uso eficiente de los recursos, la adopción de fuentes de energía limpias, el desarrollo de productos y servicios innovadores, el crecimiento de mercados amigables con el medio ambiente y la adaptación de las distintas entidades económicas y financieras al cambio climático.

El Gobierno del Presidente Sebastián Piñera está tomando la responsabilidad de este desafío, y está enfrentando las actuales a la vez las consecuencias económicas del COVID-19, buscando un mejor medio ambiente y sociedad.

Este documento titulado “Oportunidades de crecimiento verde para la meta de descarbonización en Chile” es una contribución específica al entendimiento del cambio climático y la economía en Chile y en la región. La aplicación de este enfoque metodológico ayudará a actualizar la Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP) hacia la neutralidad, la Contribución Determinada a Nivel Nacional, bajo el Acuerdo de París y el proceso presupuestario verde. Esta contribución es parte de diversas políticas que estamos promoviendo en la misma línea como: i) La Estrategia Financiera sobre Cambio Climático, ii) El Acuerdo Verde suscrito entre el sector financiero, los reguladores y el gobierno, iii) La declaración conjunta entre el Gobierno y los reguladores sobre Cambio Climático y su relación con la estabilidad financiera y iv) las dos emisiones de Bonos Soberanos Verdes para el beneficio y cuidado del medio ambiente y la sociedad, con tasas de interés increíblemente

competitivas, lo que demuestra que enfrentar el cambio climático y aprovechar las oportunidades de adaptación también puede ser una buena medida desde el punto de vista financiero. El anuncio del objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones lo antes posible es un claro reflejo del compromiso existente en materia de acción climática.

Este año Chile está jugando un rol particularmente significativo en referencia a este fenómeno, liderando la iniciativa más importante a nivel mundial en materia de cambio climático: nuestro país ha sido honrado con la presidencia de la 25ª Conferencia de las Partes (COP), que ofrece la oportunidad de acelerar el progreso que tiene relación con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, el Ministerio de Hacienda de Chile preside junto con Finlandia, la Coalición de Ministros de Finanzas para la Acción Climática, una iniciativa sin precedentes donde estamos trabajando junto con más de 50 países para incentivar las buenas prácticas y experiencias para mitigar y adaptar nuestras economías a los desafíos presentados por el cambio climático. Todo lo anterior requiere que sigamos fortaleciendo las instituciones que impulsan la inversión, la innovación y el desarrollo de tecnologías hacia sectores que nos ayudarán a cumplir las metas de Chile sobre el clima mientras aumentamos nuestra competitividad. En este punto, el Ministerio de Hacienda, como la entidad responsable de las políticas gubernamentales y finanzas públicas, juega un rol clave generando las condiciones que permitan la canalización de los flujos de capital público y privado hacia un desarrollo sostenible, equitativo y justo para los individuos y el medio ambiente.

En este sentido, este informe macroeconómico constituye un hito en el manejo económico del cambio climático, uno de los compromisos de Chile luego del Acuerdo de París, y define los ejes y medidas que deberán liderar los esfuerzos en cuanto al financiamiento climático para lograr la transición hacia una economía baja en carbono, resistente a los efectos del cambio climático.

Prefacio Ministra, Ministerio del Medio Ambiente Carolina Schmidt



Los desafíos del cambio climático nos obligan a adoptar una perspectiva a largo plazo sobre la forma en la que pensamos y actuamos en el desarrollo de las prioridades actuales – en particular dados los desafíos que el mundo enfrenta actualmente como resultado de la pandemia de Coronavirus. Es vital que las acciones que emprendamos hoy permitan una profunda transformación de nuestra economía, indicándonos el camino a importantes reducciones de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y mayor resiliencia socioeconómica para asegurar una recuperación sostenible y fuerte de la crisis de Covid-19. Para lograr estos cambios, son cruciales los datos cuantitativos y cualitativos que permitan sólidos análisis de escenarios futuros, permitiéndonos tomar las mejores decisiones para los diversos actores sociales, políticos y económicos ilustrando las potenciales alternativas y ventajas de una economía baja en carbono y resiliente al clima.

Este estudio es el resultado de la estrecha colaboración entre el Banco Mundial y el Gobierno de Chile como presidente de la COP25, a través del Ministerio de Hacienda y del Ministerio del Medio Ambiente, que nos ha permitido reunir una gama de conjuntos de datos y formuladores de políticas para apoyar el objetivo de neutralidad de emisiones para el 2050. El estudio no solo demuestra la factibilidad de lograr este objetivo de reducción de emisiones, sino también resalta los beneficios económicos, sociales y ambientales de hacerlo, estimando hasta un 4,4% de aumento en el PIB para el 2050 e ilustrando claramente el potencial de desvincular el crecimiento económico de las emisiones de GEI.

Chile está firmemente comprometido con la acción climática, como lo refleja su compromiso en alcanzar la neutralidad de carbono para el 2050. El país será el primero en Latinoamérica en enmarcar este objetivo en una ley, con la legislación pertinente que se está discutiendo en nuestro Congreso Nacional. En medio de la crisis del Covid-19, también hemos presentado a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) una Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) (CND) significativamente

mejorada, que ha sido reconocida por varias organizaciones internacionales como un fuerte compromiso con una mayor ambición climática.

La nueva NDC de Chile establece objetivos intermedios en el camino a la neutralidad de carbono para mediados del siglo, presentando importantes contribuciones en el área de adaptación, océanos, turberas, bosques, economía circular y medidas de implementación. Es importante destacar que también recoge un enfoque novedoso al establecer – por primera vez en la NDC – un pilar social que alinea nuestros compromisos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para garantizar que la implementación de las medidas climáticas sea consistente con la protección de las personas y de los medios de vida. Por ejemplo, este pilar social establece planes para el desarrollo de una Estrategia de Transición Justa para la descarbonización de nuestro sistema energético.

El presente estudio reafirma la necesidad de seguir construyendo una visión integral que vincule las prioridades sociales, ambientales y económicas para asegurar un desarrollo equitativo y sostenible, restableciendo los equilibrios necesarios de nuestro planeta, a fin de promover mejores niveles de vida para las generaciones presentes y futuras.

Como lo demuestra el informe, Chile es un excelente ejemplo de un país que puede beneficiarse significativamente de la transición hacia una economía sostenible y baja en carbono.



Prefacio Ministro, Ministerio de Energía

Juan Carlos Jobet



El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) ha dejado clara nuestra situación: para limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 grados Celsius, las emisiones globales deben alcanzar un cero neto para el 2050. Nuestro sector ha sido una parte importante en el problema, pero ahora puede convertirse en una pieza esencial de la solución dadas las importantes oportunidades de mitigación que ofrece.

Consciente de esto, Chile se ha comprometido a convertirse en carbono neutral para el 2050, una meta en que el sector energético es el principal protagonista: no solo porque representa el 80% de las emisiones de los GEI en el país, sino porque canaliza las principales medidas para reducir las emisiones, y así convertirse en el motor principal de la reactivación económica verde y de la mitigación del cambio climático.

El Ministerio de Energía, junto con el Ministerio del Medio Ambiente y otras instituciones públicas han promovido y diseñado un plan para alcanzar la neutralidad de carbono. El plan es ambicioso, pero su esencia es simple: limpiaremos nuestra capacidad de generación de electricidad, para luego reemplazar los combustibles fósiles por electricidad a través de diferentes sectores de la economía: minería, industria, transporte y construcción. Adicionalmente, el hidrógeno verde jugará un importante rol en el cumplimiento de este objetivo, complementando el reemplazo de los combustibles fósiles donde la electricidad no es competitiva. Chile es uno de los países más apropiados para producir este combustible, debido a su enorme potencial en energía renovable de bajo costo. Esto permite que Chile produzca hidrógeno verde para el uso en transporte e industria, así como para las necesidades de exportación.

El ambicioso plan de retirada de todas las plantas energizadas con carbón para el 2040 es un gran componente de nuestra transición de energía nacional. Se combinará tanto con el

desarrollo de generación de energía renovable como con nuevas líneas de transmisión. Por lo tanto, la neutralidad de carbono crea una oportunidad para que la electricidad se convierta en una de las principales fuentes de energía para reducir las emisiones globales y la contaminación local, con significativos beneficios ambientales y para la salud humana.

Para entender cómo las diferentes variables del ambiente macroeconómico del país interactúan con el camino hacia la neutralidad de carbono, el Ministerio de Hacienda realizó una profunda investigación. Ésta muestra el efecto positivo que la adopción de medidas de mitigación tiene en nuestra economía, evaluada a través del crecimiento de Producto Interno Bruto (PIB) y la disociación entre crecimiento económico y uso de combustibles fósiles.

En otras palabras, enfrentar el cambio climático no sólo es necesario, sino que es también una ventaja para el país y la sociedad. Este análisis muestra, además, que es posible establecer una senda decrecimiento económico cumpliendo con la responsabilidad ambiental y social. Esto último mediante la adopción de políticas rentables que promuevan la transición energética hacia una economía verde y reduzcan el impacto negativo del cambio climático. El estudio también refuerza la posición de Chile como líder en responsabilidad climática y ambiental en la región, evidenciando la necesidad de establecer una continua colaboración entre los sectores. Consciente de esta necesidad de amplia colaboración, el Ministerio de Energía seguirá proporcionando conocimiento, capital humano y recursos técnicos para iniciativas tan importantes como este informe sobre política pública y cambio climático.



TABLA DE CONTENIDOS

	Pag.
RESUMEN	3
PREFACIO EX MINISTRO, MINISTERIO DE HACIENDA FELIPE LARRAÍN	4
PREFACIO MINISTRA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE CAROLINA SCHMIDT	5
PREFACIO MINISTRO, MINISTERIO DE ENERGÍA JUAN CARLOS JOBET	6
AGRADECIMIENTOS	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. EMISIONES DE GEI DE CHILE Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN	12
3. MODELOS Y MÉTODOS	17
3.1. MEMO - MODELO DE OPCIONES DE MITIGACIONES MACROECONÓMICA	17
3.2. ESTRUCTURA Y EMISIONES DEL SECTOR INPUT-OUTPUT	18
3.3. POLÍTICAS DE MITIGACIÓN	21
3.4. CONFIGURACIÓN DE SIMULACIÓN	24
4. RESULTADOS	25
4.1. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE REFERENCIA	25
4.2. RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	29
4.3. SIMULACIÓN IMPUESTO AL CARBONO	33
5. COMENTARIOS Y TRABAJO FUTURO	35
REFERENCIAS	37



AGRADECIMIENTOS

Este informe fue financiado por el Grupo del Banco Mundial (GBM) como parte de su apoyo al Gobierno de Chile durante su Presidencia de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP25) y a solicitud del Ministerio de Hacienda. Los fondos fueron proporcionados por el Fondo Fiduciario de la NDC Support Facility (NDC-SF) -un fondo fiduciario con múltiples donantes con apoyo de los Gobiernos de Alemania y Suiza- creado para facilitar la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional y la implementación del Acuerdo de París.

El informe fue preparado por Marek Antosiewicz y Piotr Lewandowski del IBS (Polonia), y Nicolás de la Maza (exasesor de estudios del Ministerio de Hacienda) bajo el liderazgo de Luis Gonzales, Coordinador de Cambio Climático, Energía, Medioambiente y Economía en Clapes UC y ex Coordinador de Estudios, Ministerio de Hacienda.

La preparación del informe y su lanzamiento fue supervisado por un equipo del Grupo Banco Mundial liderado por Ana Elisa Bucher (Especialista Senior en Cambio Climático, Grupo de Cambio Climático) y Francisco Javier Winter Donoso (Oficial de Operaciones, Oficina de Chile).

Le agradecemos al GBM, a los colegas revisores externos y a los representantes oficiales por sus excelentes comentarios y retroalimentación recibidos durante la finalización del estudio. También quisiéramos agradecer al Ministro de Hacienda de Chile - Sr. Ignacio Briones - y a sus asesores por los comentarios y contribuciones proporcionados durante el seminario técnico organizado en el Ministerio de Hacienda el 16 de Enero de 2020. Finalmente, quisiéramos agradecer a todos los equipos técnicos del Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente por su valioso aporte durante la realización del estudio.

Oportunidades de crecimiento verde para la meta de descarbonización en Chile.

Informe sobre los efectos macroeconómicos de implementar políticas de mitigación de cambio climático en Chile



1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno de Chile ha mostrado una significativa voluntad política de implementar acciones de mitigación de cambio climático, lo que permitirá al país cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas obligaciones están establecidas en diferentes iniciativas, como la Estrategia Financiera sobre Cambio Climático y actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), cuyo objetivo es alcanzar un objetivo de cero emisiones netas para el 2050. El gobierno ha desarrollado y actualizado un conjunto de medidas de intervención que incentivan la reducción de emisiones en toda la economía (Ministerio del Medio Ambiente, 2020). Implementar tales políticas requiere un minucioso análisis económico y entendimiento de sus costos y consecuencias (Krogstrup & Oman, 2019).

Dado que estas políticas son importantes desde el punto de vista de la economía, su costo completo va más allá de la simple suma de gastos. Las políticas requeridas generalmente involucran cambios fundamentales en la estructura de la economía y, por lo tanto, deben ser evaluadas estratégicamente con herramientas que consideren múltiples interrelaciones entre los diversos actores de la economía: gobierno, consumidores, empresas de diferentes sectores y comercio con el resto del mundo. La realización de una evaluación de este tipo puede alertar sobre las posibles consecuencias macroeconómicas, ya sean positivas o negativas, de estas acciones, mientras ayudan a identificar a los sectores potencialmente ganadores o perdedores; ayudando así a asegurar el apoyo público y las condiciones propicias para su implementación. (FMI, 2019).

Durante la última década, el Gobierno de Chile, universidades y centros de investigación han trabajado en la evaluación de medidas de mitigación relacionadas con el cambio climático (Palma et. al, 2020). El Programa Planes de Acción y Escenarios de Mitigación (MAPS Chile) se inició en 2012 para estudiar y entregar las mejores opciones que el país tenía para mitigar las emisiones de GEI. Entre los resultados se incluyen la base de referencia de emisiones de GEI 2013-2030,

medidas y escenarios de mitigación, junto con un análisis de los efectos macroeconómicos asociados con los diferentes escenarios. Una descripción de este proceso, las implicaciones para el sector energético y la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) revisada, son analizadas en Palma et. al (2019). El objetivo de este informe es actualizar el análisis macroeconómico del nuevo conjunto de medidas de mitigación. El estudio tuvo como objetivo evaluar las medidas consideradas para la NDC revisada y el compromiso de neutralidad de carbono, junto con las circunstancias y proyecciones económicas actualizadas que estaban en vigor por la recientemente renovada NDC de Chile.

Este estudio se basa en un trabajo similar realizado para México en 2016. Veysey et al. (2016) estimaron que los costos de mitigación para que el país implemente medidas para reducir las emisiones en un 50% en 2050 con respecto al 2000, podrían fluctuar entre 2% y 4% del PIB en 2030 y entre 7% y 15% del PIB en 2050. Estudios similares de Tober et al. (2016), estima que el uso del impuesto al carbono como una medida de mitigación podría tener efectos negativos o positivos en el PIB de los países de América Latina, dependiendo de los modelos macroeconómicos usados. Lefèvre et al. (2018), sugieren que Brasil podría mantener sus niveles de producción de petróleo con una descarbonización más profunda de acuerdo a su NDC y alineado con una vía de emisión de 2°C, con una pequeña pérdida en el PIB para el 2030. En comparación con nuestros resultados, las mayores implicaciones de costos en este caso pueden darse debido a diversos factores, tales como la evaluación de impacto en países con diferentes matrices energéticas (México es un país que produce petróleo, por ejemplo) y diferentes conjuntos de medidas de mitigación, entre otros.

El estudio está estructurado como sigue: la Sección 2 detalla las emisiones de GEI de Chile por sector y las medidas de mitigación propuestas; la Sección 3 presenta el modelo MEMO y la configuración de la simulación; la Sección 4 presenta los resultados plausibles; y la Sección 5 presenta una discusión y sugerencias sobre los potenciales siguientes pasos.

¹ Similar al ProyectoMAPS desarrollado anteriormente en Chile por el Ministerio de Medio Ambiente

2. EMISIONES DE GAS DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE CHILE Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

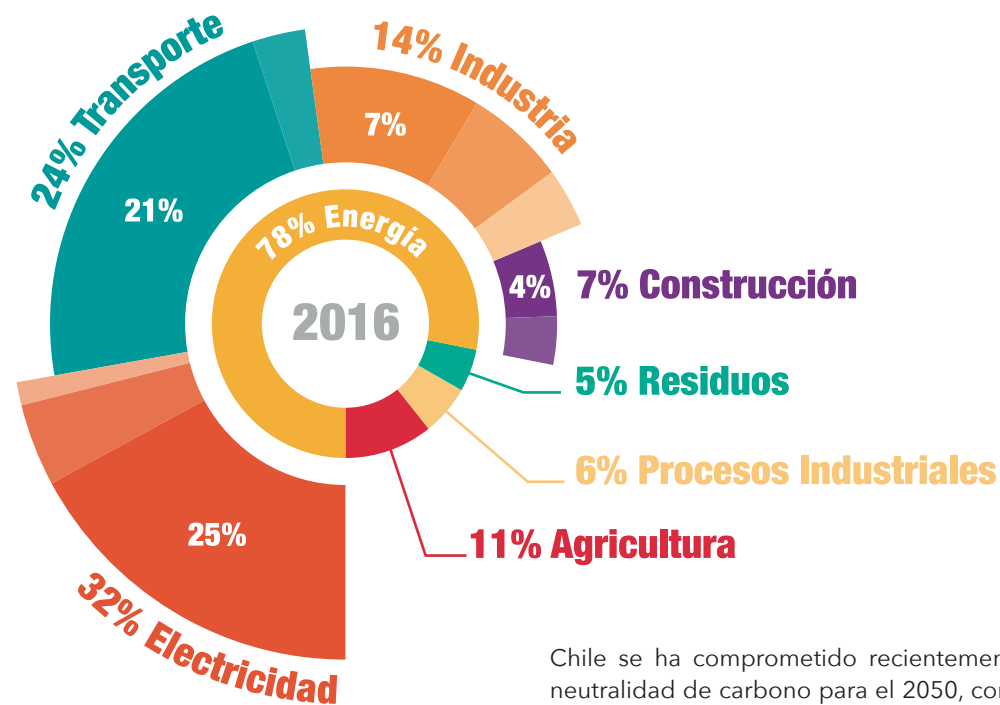
2.1. Emisiones GEI

La recientemente presentada NDC⁶ de Chile proporciona un conjunto de acciones de mitigación que busca reducir las emisiones de CO_{2eq} de una amplia gama de actividades económicas. De acuerdo con el inventario GEI 2016 del país, los principales sectores fuente de CO_{2eq} son Electricidad y Transporte, principalmente debido al uso de combustibles fósiles, como se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1.

Proporción de emisiones de GEI por sector (estimaciones de 2016)

Fuente: Ministerio de Energía



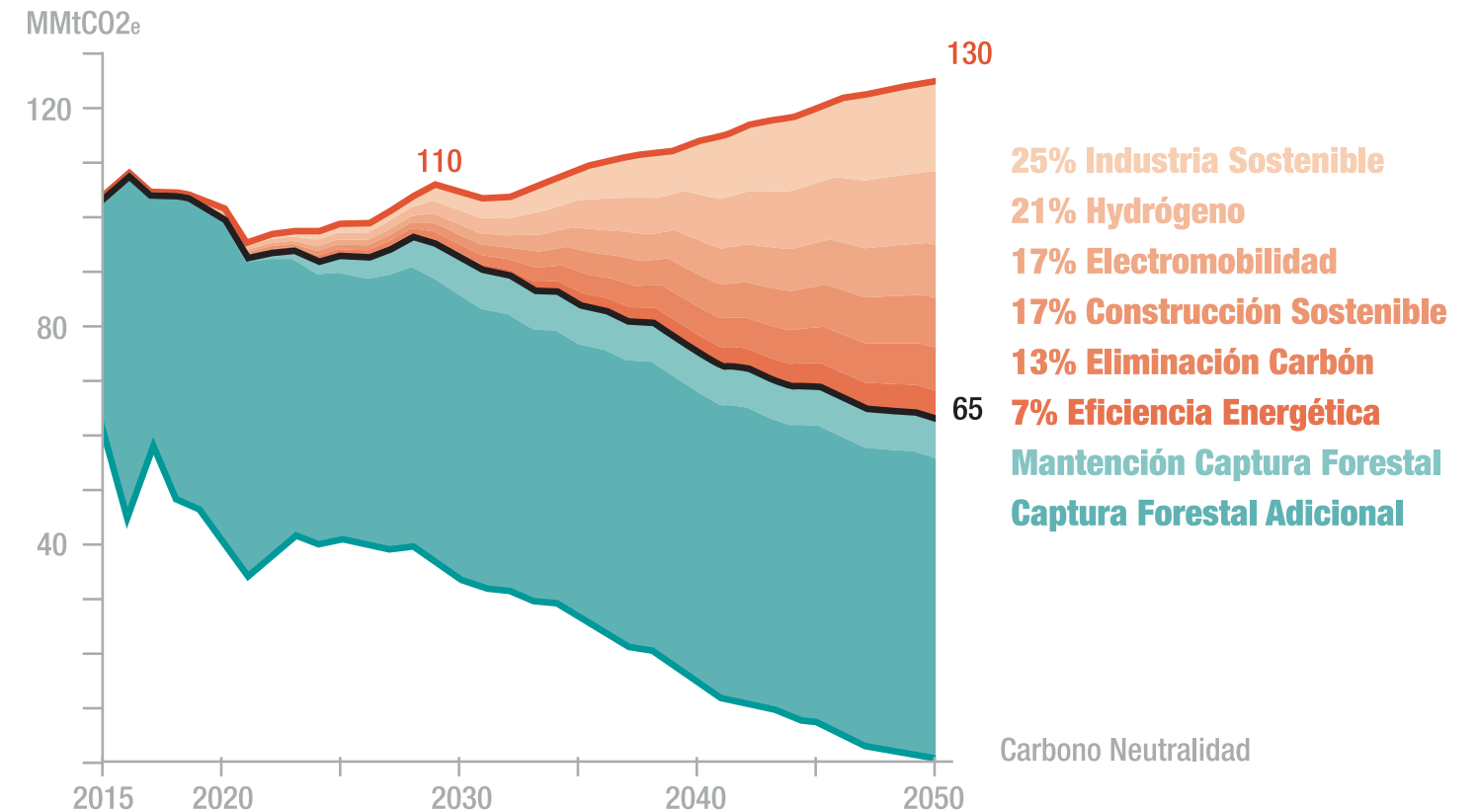
Chile se ha comprometido recientemente con la audaz medida de alcanzar la neutralidad de carbono para el 2050, con una NDC ambiciosa para el 2030 como un paso en el proceso para reducir el 45% de las emisiones netas como se establece en la recientemente renovada NDC. Para lograr esta neutralidad, los ministerios de Energía, Medio Ambiente y Agricultura, han propuesto diversas medidas cuya finalidad es reducir las emisiones de CO_{2eq} y aumentar su captura. Estas medidas están separadas por categoría en la Figura 2.2, que ilustra su contribución proyectada. La industria sostenible, la inclusión de hidrógeno en la matriz energética, la electromovilidad, la construcción sostenible y la eliminación de las plantas eléctricas impulsadas por carbón jugarán un rol importante, representando el 93% de las reducciones de CO_{2eq} proyectadas.

⁶ Chile presentó su NDC actualizado a la UNFCCC el 8 de abril de 2020. Los objetivos cuantitativos presentados en esta NDC son parte de un análisis más amplio, en donde Chile buscará alcanzar la neutralidad de GEI para el 2050, como lo establece el Borrador de la Ley Marco sobre Cambio Climático que está actualmente en discusión en el Congreso Nacional. Como tal, esta contribución y sus consecutivas iteraciones serán las metas intermedias para lograr el objetivo de neutralidad para el 2050, ajustándose en diseño con las medidas necesarias para lograrlo. Esta actualización presenta un aumento de ambición del compromiso de Chile de alcanzar el objetivo del Acuerdo de París, en línea con un camino hacia la neutralidad de GEI para el 2050. Este aumento de ambición es consistente con lo que fue promovido y resaltado por el país durante la COP25, lo que se ve reflejado en la decisión 1/CP.25 acordada por todas las partes.

Figura 2.2.

Medir las contribuciones hacia la neutralidad de carbono

Fuente: Ministerio de Energía



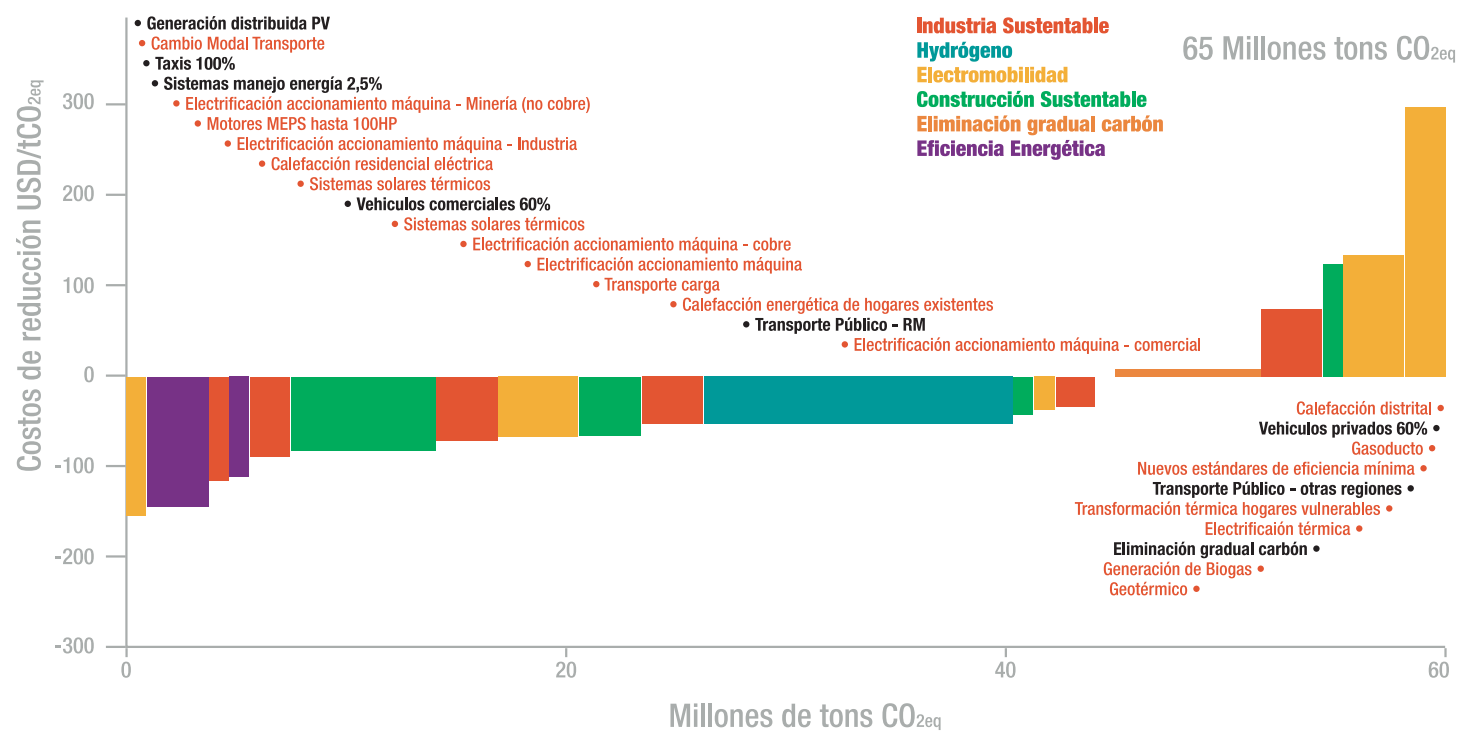
La Figura 2.3 muestra las contribuciones proyectadas de las medidas más relevantes y su participación en los niveles de CO_{2eq} a reducir para lograr la neutralidad, dado el nivel de captura de CO_{2eq}. La eliminación gradual de las centrales de carbón, la introducción de sistemas de energía térmica solar y el hidrógeno para la impulsión de máquinas en el sector industrial, la sustitución del diésel por hidrógeno en el transporte de carga, y la electrificación de la calefacción residencial son las cinco intervenciones con las mayores contribuciones proyectadas hacia la reducción de emisiones, que representa el 51% de las reducciones.

La Figura 2.4 muestra la curva de costos de reducción propuesta, ilustrando que algunas medidas implicarán ahorros, mientras que para lograr la neutralidad es necesario incluir medidas que tendrán un alto costo por tonelada de CO_{2eq} reducida. De las cinco medidas previamente identificadas se proyecta que solo la eliminación gradual del carbón tenga costos de reducción positivos.

Figura 2.4

Curva de costo de reducción marginal para las opciones de mitigación consideradas para la NDC en consulta pública

Fuente: Ministerio de Energía



3. MODELOS Y MÉTODOS

El propósito de este trabajo es modelar el impacto del paquete de intervención de mitigación de CO_{2eq} en la economía, particularmente para los indicadores macroeconómicos agregados. Además, es importante entender cómo las intervenciones afectan a los diferentes sectores económicos, especialmente en el contexto de las ambiciosas y nuevos objetivos de descarbonización. El modelo utilizado es un modelo puramente económico que toma en cuenta las emisiones de CO_{2eq}. Una de las principales ventajas y valor agregado es el vínculo con los modelos sectoriales que se utilizaron para generar datos sobre el capital total y los gastos operacionales relacionados con las intervenciones sectoriales. Esta característica diferencia este ejercicio de otros modelos integrados, sacando ventaja de la información exógena sobre decisiones de inversión y operacionales año a año, analizada por el enfoque de equilibrio general dinámico. Existen varios métodos para analizar los efectos de las políticas de mitigación del cambio climático desde una perspectiva macroeconómica. Uno de los principales enfoques es usar el Modelo de Evaluación Integrada, en donde, tanto las esferas económica y ambiental como sus interrelaciones están explícitamente modeladas, ver NGFS (2019) ó Krogstrup & Oman (2019). Tales modelos son generalmente desarrollados desde una perspectiva global, y utilizar un modelo de este tipo para una economía pequeña y abierta como la de Chile no sería apropiado, ya que el impacto del país en el medio ambiente es casi insignificante. Aquí el objetivo es diferente con respecto a tales modelos y su

objetivo es estimar el impacto de las medidas de mitigación en la economía chilena. El modelo no incorpora una función de daño climático, por lo que no contabilizamos los impactos físicos negativos del cambio climático físico tanto en la línea de base como en los escenarios de mitigación. Por lo tanto, este trabajo muestra cómo el paquete de mitigación afecta las principales variables macroeconómicas en términos de su desviación de la senda habitual. Tales ejercicios generalmente son realizados mediante el uso de modelos de equilibrio general computables (CGE) o modelos de equilibrio general dinámico estocástico (DSGE). El primer tipo generalmente sigue un planteamiento de "talla única" y abarca al menos varias o docenas de regiones (países), que están divididos en muchos sectores. Tal cantidad de variables requiere limitar la complejidad del modelo en otras áreas. Por otra parte, el último planteamiento DSGE, que seguimos en este estudio, sacrifica el número de regiones y sectores que se distinguen por enriquecer la estructura económica del modelo. Un modelo GSGE generalmente cubre una o dos áreas económicas con un número de sectores limitado a aproximadamente 20. Sin embargo, el planteamiento DSGE permite la incorporación de diversas fricciones relacionadas con el mercado laboral, la adopción de tecnología, una economía abierta, finanzas, procesos de inversión y otros. Por lo tanto, al realizar un análisis adaptado para un solo país, las ventajas de utilizar un DSGE superan las ventajas del esquema CGE.

3.1. MEMO - Modelo de opciones de mitigaciones macroeconómica

Para la evaluación del paquete de políticas usamos el modelo de equilibrio general estocástico dinámico MEMO, desarrollado en el Instituto de Investigación Estructural. El modelo combina dos líneas de investigación: input-output y modelos de equilibrio general. Los principales agentes del modelo y sus interrelaciones se muestran en la Figura 3.1. El modelo está formado por el sector de los hogares, que maximiza la utilidad del consumo y el ocio; el sector empresarial que maximiza las utilidades; y el sector gubernamental que recauda los diversos impuestos y financia el consumo público, y un sector exterior responsable del comercio con el resto del mundo. Las principales características del modelo incluyen la división de la empresa en sectores calibrados en una matriz input-output, buscando la adecuación en el mercado laboral para modelar la transición de los trabajadores entre sectores, y la adaptación endógena de la tecnología relacionada con el uso de energía. La estructura sectorial del modelo es calibrada utilizando la industria chilena de 2015 por matriz de insumo-producto de la industria de la base de datos de estadísticas de la OCDE⁷. En el modelo, distinguimos los siguientes sectores y productos: Agricultura y Forestal, Minería de carbón, Minería de petróleo; Minería de gas; Minería de cobre y Otros; Industria Manufacturera, Manufacturación de productos de petróleo refinado; Electricidad de combustibles fósiles; Electricidad renovable; Distribución de gas; Construcción; Transporte; Servicios comerciales; Servicios públicos. Los detalles técnicos tales como ecuaciones exactas, calibración y métodos de solución del modelo MEMO se pueden encontrar en el informe de investigación de Antosiewicz y Kowal (2016). La especificación exacta del modelo utilizado en este estudio difiere ligeramente del modelo descrito en el informe de investigación antes mencionado, ya que lo adaptamos a las necesidades de la actual evaluación.

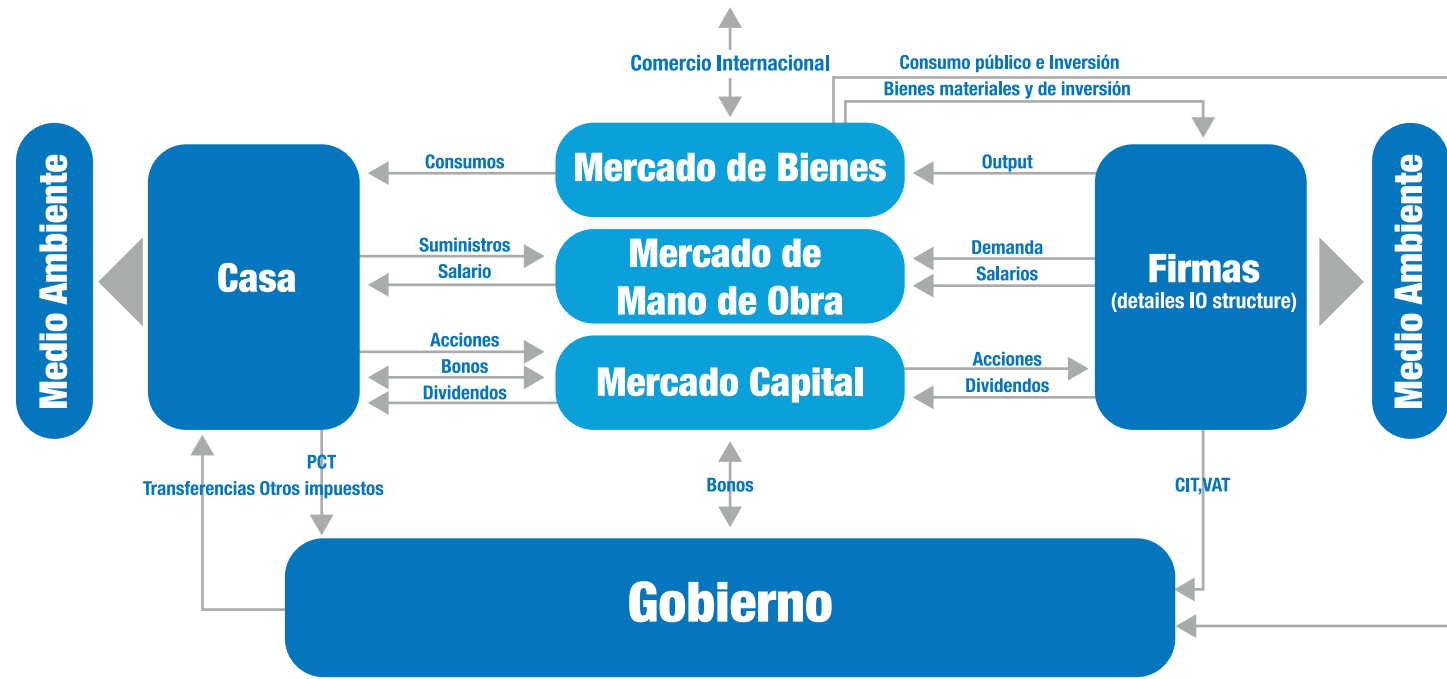
⁷ Calibrar el modelo MEMO requiere del uso de una matriz simétrica IO que distingue uso intermedio y final nacional e importado. La matriz simétrica IO proporcionada por el Banco Central de Chile (BCC) ni distingue uso nacional e importado. Por otra parte, la matriz asimétrica IO del BCC sí distingue el uso nacional e importado, pero es proporcionado en un formato de producto por actividad. Por lo tanto, no es posible calibrar directamente la estructura de producción completa del modelo a esta matriz. Sin embargo, se usó para disgregar el uso de algunos sectores donde la disgregación de la matriz OECD no fue suficiente.



Figura 3.1

Agentes de modelo principal

Fuente: Preparado por los autores del estudio



3.2. Estructura y emisiones del sector input-output

Hay varios conjuntos distintos de parámetros cuyos valores necesitan ser calculados. El conjunto principal contiene los parámetros que dirigen el lado de producción del modelo. Estos parámetros pueden especificarse además como aquellos que dirigen la estructura de valor agregado de los sectores, la inversión y compensación de empleados en cada sector, la estructura de uso intermedio que considera los bienes producidos e importados en el país y la estructura de uso final que también toma en cuenta los productos de producción nacional e importados. En la Figura 3.2. se muestra un esquema de la estructura de producción. Cada empresa opera una función de producción que utiliza una especificación CES (elasticidad constante de sustitución) anidada para combinar los factores de producción. En la primera etapa, la empresa combina capital y energía; la segunda etapa consiste en agregar mano de obra, mientras que en la etapa final este paquete se combina con materiales (uso intermedio). El paquete de materiales se compone de productos de cada sector, que se desglosan a su vez en la parte importada y la de producción nacional. Por el lado del uso, los bienes producidos por cada sector son adquiridos por el hogar como consumo privado, por

el gobierno como consumo público, por las empresas como inversión y uso intermedio, o pueden ser exportados.

Para calibrar el lado de la firma del modelo usamos la matriz de input-output (IO) de la base de datos de estadísticas OECD. Esta es una matriz de 36 actividades por 36 actividades que usa la Clasificación Estándar Internacional de Todas las Actividades Económicas (ISIC). Rev 4. Sin embargo, para este estudio desgregamos algunos sectores y productos que se colapsan en una sola actividad en la matriz de OECD. Para conducir esta desgregación, tal como la desgregación de combustibles fósiles específicos, complementamos la información con una matriz de input-output altamente desgregada del Banco Central de Chile. Esta matriz adicional se encuentra en un formato de 181 productos por 111 actividades.

En el primer paso, la matriz IO OECD se agrega en los siguientes sectores: 1) AGR: Agricultura, Forestal y pesca; 2) MIN_ENE: Minería de Productos energéticos; 3) MIN_OTH: Minería de Metales y otros metalíferos; 4) RPP: Manufactura de productos de petróleo refinado; 5) IND: Industria Manufacturera

restante; 6) ENERGIA: Electricidad, gas, suministro de agua y alcantarillado; 7) CONSTR: Construcción; 8) TRANS: Transporte 9) SERV: Servicios Comerciales ; 10) PBL: Servicios públicos . Tabla 3.1 Resume la acumulación de este sector.

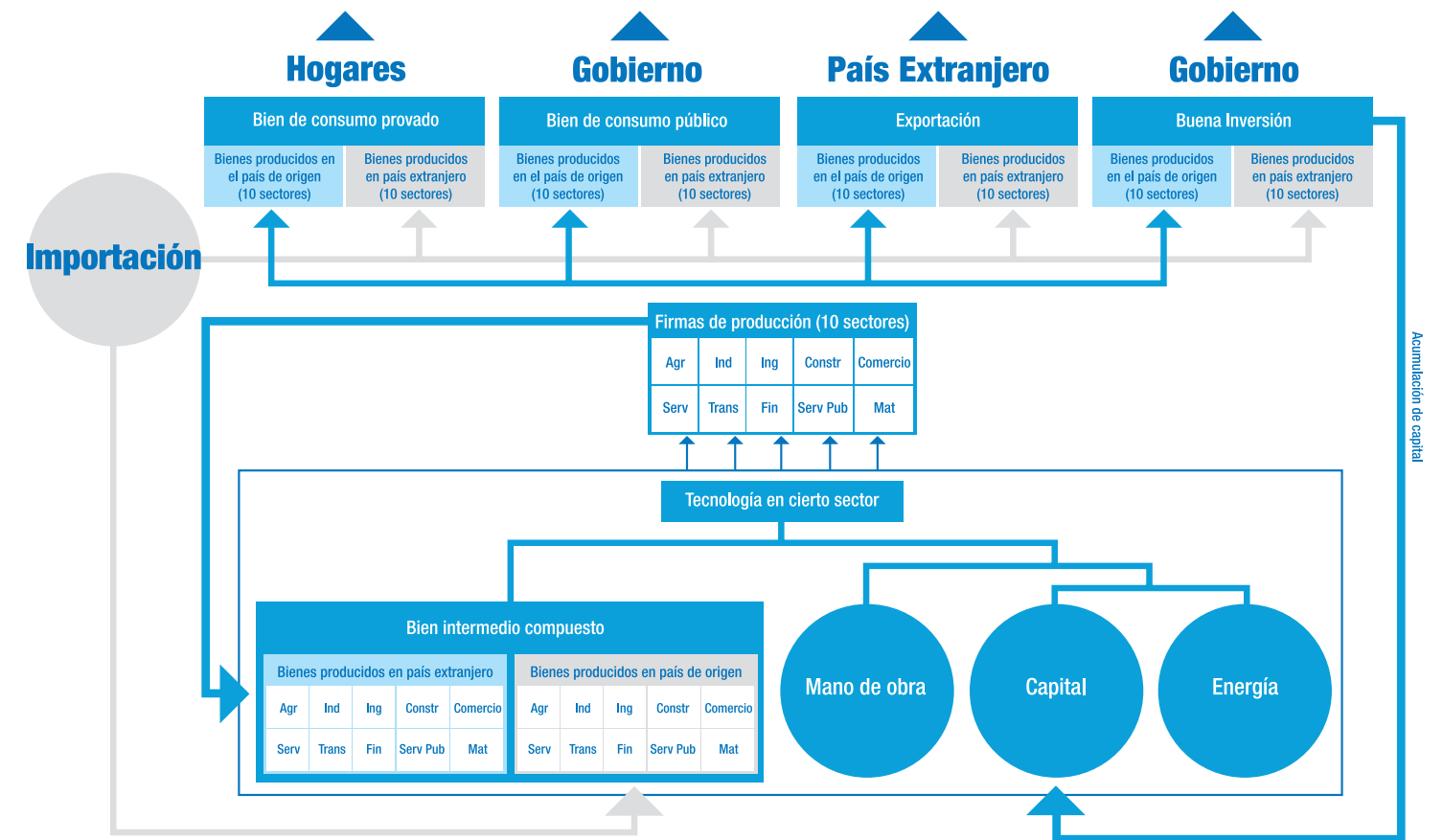
En el segundo paso, condujimos un desglose de diversos sectores relacionados con el sector de combustibles fósiles y electricidad usando la matriz IO muy desglosada e información de la Agencia Internacional de Energía en relación a la generación de electricidad por fuente. Desglosamos el sector

ENERGIA TTL_35T39) en 1) generación y distribución de energía 2) distribución de gas natural, 3) distribución de agua y manejo de desechos. Incluimos el ultimo sector en el sector de la industria (IND). Luego desgregamos el sector MIN_ENE en los principales combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas. Finalmente, desglosamos la generación y distribución de energía en dos sectores separados de electricidad: 1) Electricidad no renovable (combustible fósil) y 2) generación y distribución de electricidad renovable.

Figura 3.2

Proceso de producción en modelo MEMO

Fuente: Preparado por los autores basado en información del Ministerio de Energía y del Ministerio del Medio Ambiente Chile.



⁵ It is defined as the value of output minus the value of purchased inputs (Abel et al., 2011)

Table 3.1.

Incorporación de sectores de la matriz OECD IO

ISIC código rev Rev.4	Sector	Incorporación
TTL_01T03	Agricultura, forestal y pesca	AGR
TTL_05T06	Minería y extracción de productos productores de energía	MIN_ENE
TTL_07T08	Minería extracción de productos productores de energía	MIN_OTH
TTL_09	Actividades de servicio de apoyo a la minería	MIN_OTH
TTL_10T12	Productos alimenticios, bebidas y tabaco	IND
TTL_13T15	Textiles, vestuario, cuero y productos relacionados	IND
TTL_16	Madera y productos de madera y corcho (excepto muebles)	IND
TTL_17T18	Productos de papel e impresión	IND
TTL_19	Coque y productos de petróleo refinado	RPP
TTL_20T21	Productos químicos y farmacéuticos	IND
TTL_22	Productos de goma y plástico	IND
TTL_23	Otros productos de mineral no metálico	IND
TTL_24	Manufactura de metales básicos	IND
TTL_25	Productos de metal fabricado, excepto maquinaria y equipamiento	IND
TTL_26	Productos de computación, electrónica y óptica	IND
TTL_27	Equipamiento eléctrico	IND
TTL_28	Maquinaria y equipamiento n.e.c.	IND
TTL_29	Vehículos automotrices, remolques y semi remolques	IND
TTL_30	Otro equipo de transporte	IND
TTL_31T33	Otra maquinaria de fabricación, reparación e instalación de maquinaria y equipamiento	IND
TTL_35T39	Electricidad, gas, suministro de agua, alcantarillado, desechos y servicios de reparación	ENERGY
TTL_41T43	Construcción	CONSTR
TTL_45T47	Comercio mayorista y minorista; reparación de vehículos automotrices	SERV
TTL_49T53	Transporte y almacenamiento	TRANS
TTL_55T56	Servicios de alojamiento y alimentación	SERV
TTL_58T60	Actividades de publicidad, audiovisual y radiodifusión	SERV
TTL_61	Telecomunicaciones	SERV
TTL_62T63	IT y otros servicios de información	SERV
TTL_64T66	Actividades financieras y de seguros	SERV
TTL_68	Actividades inmobiliarias	SERV
TTL_69T82	Otros servicios del sector comercial	SERV
TTL_84	Administración pública y defensa; seguridad social obligatoria	PBL
TTL_85	Educación	PBL
TTL_86T88	Salud Humana y trabajo social	PBL
TTL_90T96	Arte, entretenimiento y recreación y otras actividades de servicio	PBL
TTL_97T98	Hogares privados con personas empleadas	PBL

En MEMO, el estudio modela directamente las emisiones de CO_{2eq} del uso de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas. El volumen de las emisiones de carbón en un sector en particular es modelado como una función lineal del uso de estos combustibles, con coeficientes establecidos para combinar la información del sector con respecto a las emisiones. Sin embargo, se deben hacer algunos cambios a la distribución de emisiones del sector económico, comparándolos con las clasificaciones comunes usadas para la información de emisiones. Por ejemplo, la información de emisiones típica clasifica las emisiones de transporte como el uso de productos de petróleo refinado, sin importar si el combustible es usado por autos privados, compañías que no son de transporte o compañías de transporte que usan camiones, etc. Sin embargo, la información IO económica muestra el uso de productos de petróleo refinado por todos los sectores (incluyendo el doméstico), requiriendo una disgregación de estas emisiones. No modelamos directamente otras emisiones que no sean

de carbón, tales como aquellas resultantes de los procesos industriales, agricultura o captura en el sector forestal. Tales emisiones son tratadas de forma indirecta en la fase post procesamiento de los ejercicios de modelación.

Las implicaciones de los ejercicios realizados son las siguientes. Es posible modelar una intervención relacionada con combustible no fósil (por ejemplo, en el área forestal o de agricultura) usando la información CAPEX y OPEX, y obtener resultados para su costo macroeconómico. En el caso de modelar una intervención así, simplemente usamos información externa en relación con la caída de las emisiones o capturas no de carbón. Sin embargo, en el caso de dirigir una simulación de impuesto al carbón, los agentes en el modelo solo reaccionan a las emisiones de combustibles fósiles que son modelados directamente, y no, por ejemplo, reduce el rendimiento en el sector de agricultura para cortar las emisiones no de carbón.

3.3. Políticas de mitigación

El Ministerio de Hacienda de Chile, en discusión con los Ministerios de Energía y Medio Ambiente, elaboraron un conjunto de políticas de mitigación a ser evaluada usando el modelo macroeconómico. Cada intervención se caracteriza por el sector en el que la intervención se conduce y por los costos de inversión anuales (CAPEX) y los costos operacionales (OPEX) de la intervención entre los años 2017 y 2050. Además, para cada intervención tanto el CAPEX y el OPEX son disgregados en los productos de sectores. Por ejemplo, el resultado de una intervención en el sector de transporte que consiste en una inversión en vehículos eléctricos será vinculado a:

- Compras de inversión importada del sector de la industria de manufactura, financiada por el sector de transporte.
- Un aumento en el gasto operacional en electricidad por el sector de transporte.
- Una disminución en los gastos operacionales en productos de petróleo por el sector de transporte.

Tanto el CAPEX y OPEX son proporcionados como una serie anual en millones USD y su suma se muestra en la Tabla 3.2 para cada intervención

Tabla 3.2.

Conjunto de políticas de mitigación propuestas por el gobierno y su valor en USD millones

Intervención	Sector	CAPEX total neto	OPEX total neto
Generación Distribuida	Manufactura	1,357	-7,965
Cambio Modal de Transporte	Transporte	298	-2,276
Electromovilidad – taxis	Transporte	4,350	-16,003
Ley de Eficiencia Energética SGE 2.5%	Manufactura y Minería	7,861	-22,457
Electrificación Motriz – resto de minería	Minería	903	-9,516
Motores MEPS Motors up to 100HP	Minería	414	-5,988
Electrificación Motriz – industria	Manufactura	401	-9,433
Fertilizadores	Agricultura	0	-1,504
Calefacción Eléctrica Residencial	Residencial	4,181	-28,530
SST Industria y minería	Manufactura y Minería	744	-13006
Electromovilidad - vehículos comerciales 60%	Transporte	12,303	-25,497
SST Residencial and publica	Residencial	1,118	-8,643
Calefacción eléctrica pública comercial	Servicios comerciales	981	-2,159
Electrificación Motriz- minería cuprífera	Minería	1,031	-9,688
Hidrógeno –Usos motrices	Manufactura y Minería	12,666	-39,026
Hidrógeno - transporte de carga	Transporte	10,190	-28,831
Calificación energética de hogares existente	Residencial	2,438	-6,498
Electromovilidad - transporte público RM	Transporte	3,308	-6,590
Electrificación motriz – comercial	Servicios Comerciales	3,300	-7,091
Calefacción urbana	Residencial	55	16
Geotérmico	Residencial	49	-72
Antorchas de gas natural en vertederos	Manufactura	6	1
Generación de Biogas	Manufactura	106	-89
Eliminación gradual de carbón	Electricidad	6,432	-4,490
Biodigestores	Agricultura	274	665
Electrificación Térmica	Manufactura	6,629	-155
Cambio de dieta bovina	Residencial	0	653
Cambio térmico de hogares vulnerables	Residencial	2,938	-1,377
Electromovilidad - regiones de transporte público	Transporte	30,666	-15,253
Hidrógeno- Gasoductos	Distribución de gas	1,622	-541
Nuevos estándares mínimos de eficiencia (MEPS)	Residencial	2,642	-1,095
Electromovilidad-vehículos privados 60%	Residencial	19,393	-5,425
Reforestación y manejo sustentable para captura de CO2eq	Forestal	1,423	0
Compensación de Bosque Nativo	Forestal	1,590	360

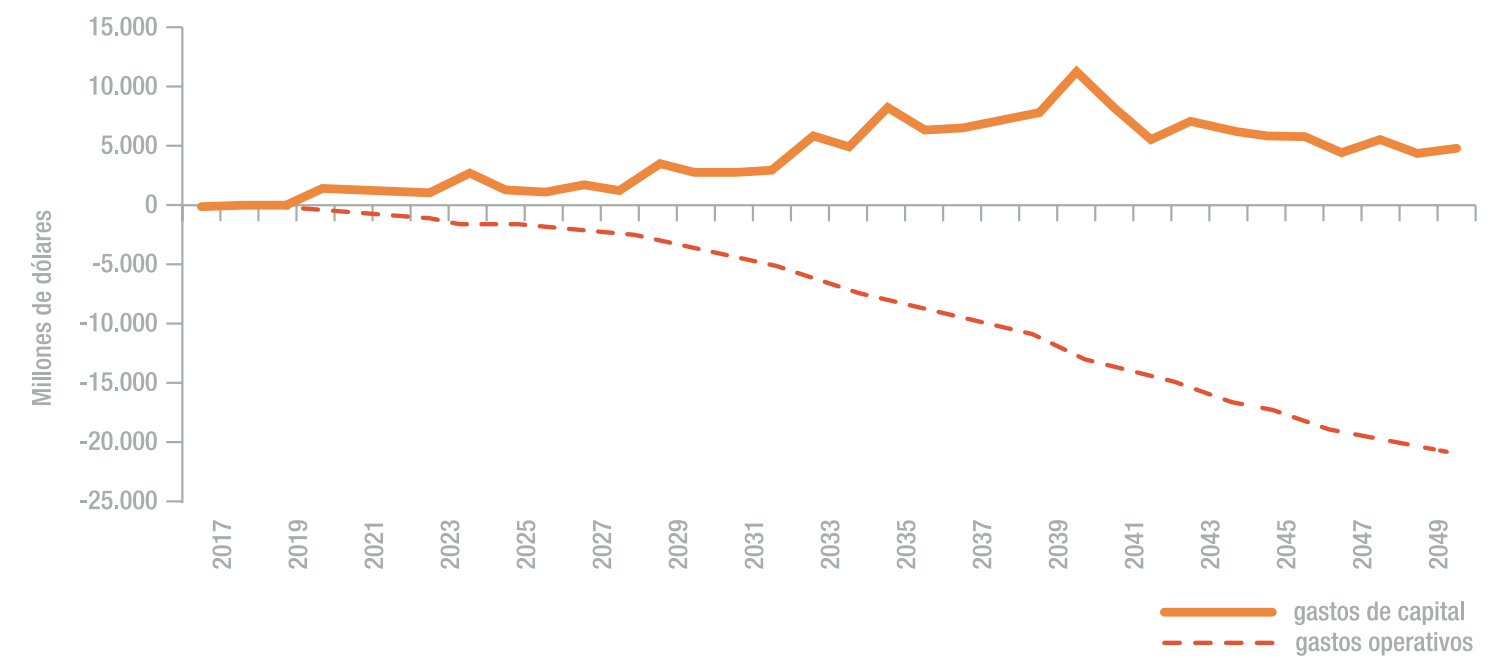
Fuente: Ministerio de Hacienda con información del Ministerio de Energía y Ministerio del Medio Ambiente, Chile

El análisis documentado de como el capital neto y los gastos operacionales evolucionan en el tiempo. La inversión total requerida para implementar el conjunto de intervenciones aumenta gradualmente a aproximadamente US\$11 billones en el año 2040, y luego cae a US\$5 billones en el año 2050. El cambio neto en los gastos operacionales que surgen de la intervención es mucho más alto en valores absolutos. Los valores negativos, que corresponden a ahorro, primero aumentan lentamente a US\$3 billones en el año 2030. Después de este año, los ahorros comienzan a subir más rápidamente, alcanzando US\$20.8 billones en el año 2050. Los ahorros acumulados para todo el periodo de tiempo son igual a USD 277.5 billones a un costo de inversión igual a US\$141.6 billones.

Figura 3.3

Total capital neto y gastos operacionales (en millones de dólares) para un objetivo de cero emisiones para el 2050

Fuente: Preparado por los autores basados en información del Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, Chile.



3.4. Configuración de simulación

El modelo ejecuta diversas simulaciones para estudiar exhaustivamente el impacto macroeconómico de la implementación de las medidas de mitigación contra los supuestos de la base de referencia con respecto al desarrollo de la situación económica en Chile. Primero que nada, realizamos una simulación de referencia usando información de CAPEX y de OPEX proporcionada por expertos del sector del Ministerio de Energía y del Ministerio del Medio Ambiente que es el principal foco de este informe.

Para conducir la simulación de referencia, dividimos las series temporales para CAPEX y OPEX por la vía asumida del PIB, para llegar a las series temporales expresadas en participaciones del PIB para cada año hasta el 2050. En el siguiente paso, usamos el filtro Kalman para simular una caída en el valor de un flujo dado y su impacto en el resto de la economía. En el caso de CAPEX, el flujo es la compra de bienes de inversión donde en el caso de OPEX, esta es la compra de uso intermedio por la firma que opera en el sector de intervenciones. El enfoque de una simulación así está vinculado con los siguientes supuestos implícitos. El análisis asume que toda la economía crece a la tasa provista en la senda de crecimiento de la base de referencia por el Ministerio de Hacienda, sin cambios estructurales y con precios de bienes de los diferentes sectores relativamente constantes. Si los supuestos relacionados a los precios de los combustibles fósiles usados por los expertos del sector son diferentes, esto introducirá sesgo en los resultados de la simulación. De forma similar, si la vía de la base de referencia del uso de combustibles fósiles difiere de estas suposiciones se introducirán algunos sesgos a los resultados de la simulación.

La simulación de referencia es suplementada con un análisis de sensibilidad, donde analizamos dos dimensiones separadas

que están cargadas con el más alto grado de incertidumbre. Primero que todo, calculamos la importancia de posponer la implementación de medidas relacionadas con la energía derivada del hidrogeno y electromovilidad por 5 años. La tecnología detrás de estas intervenciones todavía está en una temprana etapa de desarrollo, y introducción comercial generalizada de estas tecnologías en la próxima década es altamente incierta. La reducción de emisiones relacionadas a estas tecnologías alcanzan a 27,2 Millones de toneladas para el año 2050, lo que es cerca del 40% de la reducción prevista en el paquete de intervención para el año 2050. Como esta es una importante tecnología desde el punto de vista de la reducción de emisiones, y hay una alta probabilidad de que la tecnología no sea rentable en el futuro cercano, exploramos las consecuencias de lograr la neutralidad de carbono si se pospone esta introducción. En este escenario de sensibilidad asumimos la misma trayectoria de las series temporales de CAPEX y OPEX, pero comenzando con un retraso de 5 años.

Además, hay un alto grado de incertidumbre relacionada al nivel de costo de capital de implementar las medidas, así como ahorros que estos generarán. Por lo tanto, exploramos las consecuencias de una subestimación del costo de capital requerido en un 10% o 20%⁸, así como una subestimación de los ahorros inducidos en los gastos operacionales en un 10% y 20%⁹.

Finalmente, realizamos una simulación de impuesto de carbono donde determinamos el nivel de impuesto necesario para lograr emisiones netas cero en el año 2050. En esta simulación asumimos que el impuesto al carbón es una medida adicional a todo el paquete de mitigación, y busca asegurar emisiones netas cero, si el paquete de mitigación resulta ser insuficiente.

4. RESULTS

En esta sección el estudio muestra los principales resultados de las simulaciones listadas en los párrafos que describen la configuración de simulación. Los resultados incluyen una discusión del escenario de referencia seguido por el análisis del análisis de sensibilidad.

4.1. Resultados de simulación de referencia

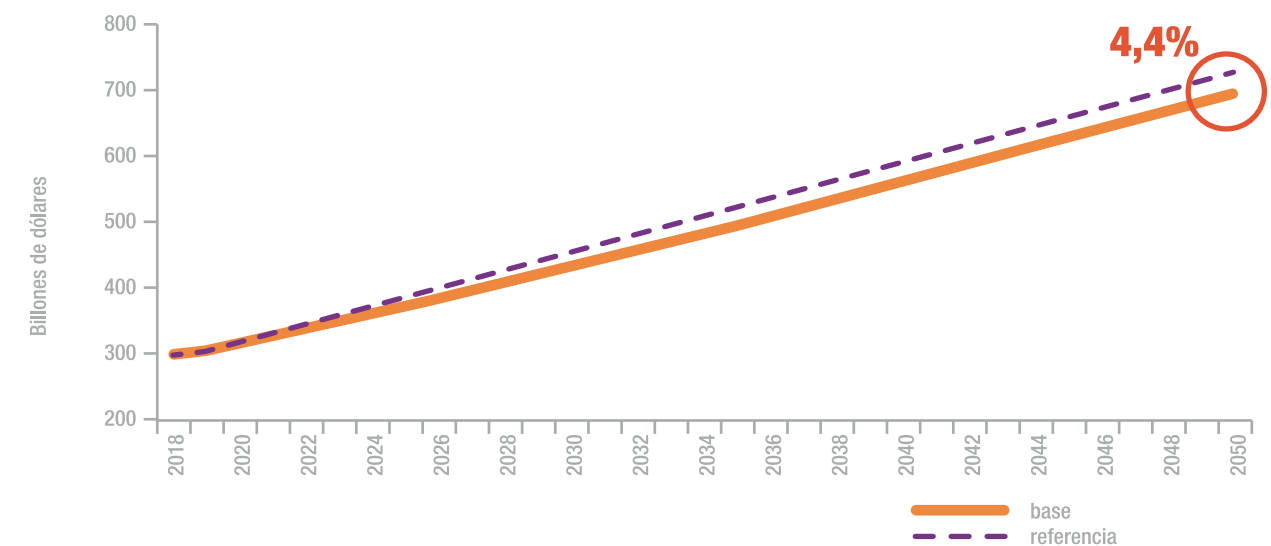
Basado en las simulaciones descritas, el estudio infiere que implementar el paquete de intervención podría tener un impacto positivo en la actividad económica de Chile. Como se puede ver en la Fig 4.1, se espera que el nivel de Producto Interno Bruto (PIB) aumente gradualmente en relación al escenario de base de referencia. Hacia el final del periodo de simulación, el nivel de PIB puede ser más alto hasta un 4,4% o UF\$31 billones equivalentemente. En promedio, el paquete de

intervención contribuirá con un 0,13p.p. adicional a la tasa de crecimiento anual promedio que se observa en la Fig g. 4.2¹⁰. El impacto positivo en la actividad económica es un resultado directo del valor presente neto positivo de los paquetes de intervención. El nivel requerido de CAPEX desplaza la inversión en otros sectores de la economía. Sin embargo, el mejoramiento de la eficiencia y ahorro de uso de combustible van más allá del efecto anterior.

Figura 4.1

Impacto del paquete de intervención a nivel de Producto Interno Bruto

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.



⁸ Como el CAPEX son flujos negativos, aumentamos todo el CAPEX en 10% o 20% y re ejecutamos el modelo.

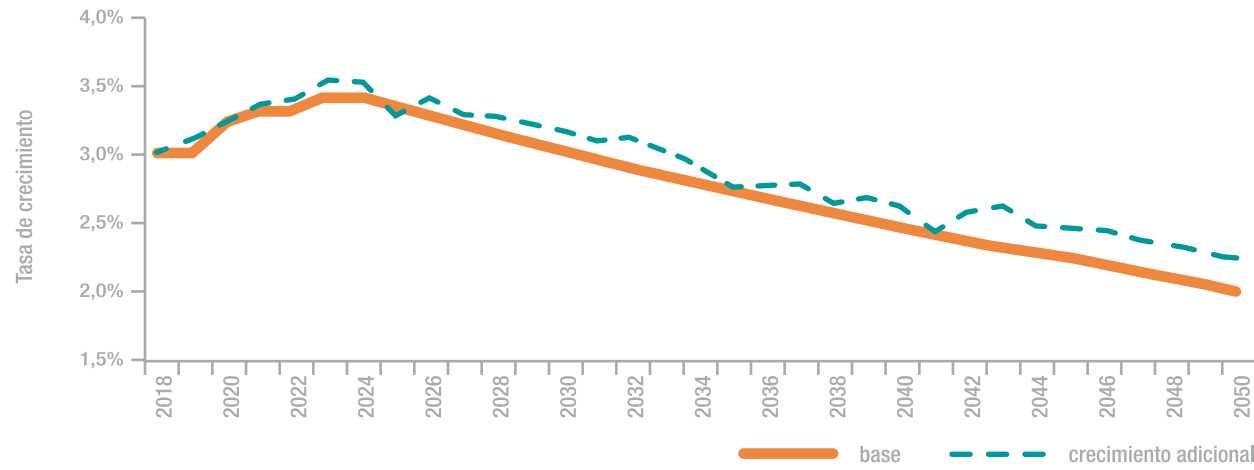
⁹ Como la mayor parte del OPEX representa ahorros netos, redujimos todo el OPEX en 10% y 20% y re ejecutamos el modelo.

¹⁰ El crecimiento de la base de referencia fue entregado al Ministerio de Energía y al Ministerio del Medio Ambiente para ser usado para la estimación del CAPEX y OPEX de la intervención. Aquí usamos la misma vía de crecimiento.

Figura 4.2

Impacto del paquete de intervención en la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.

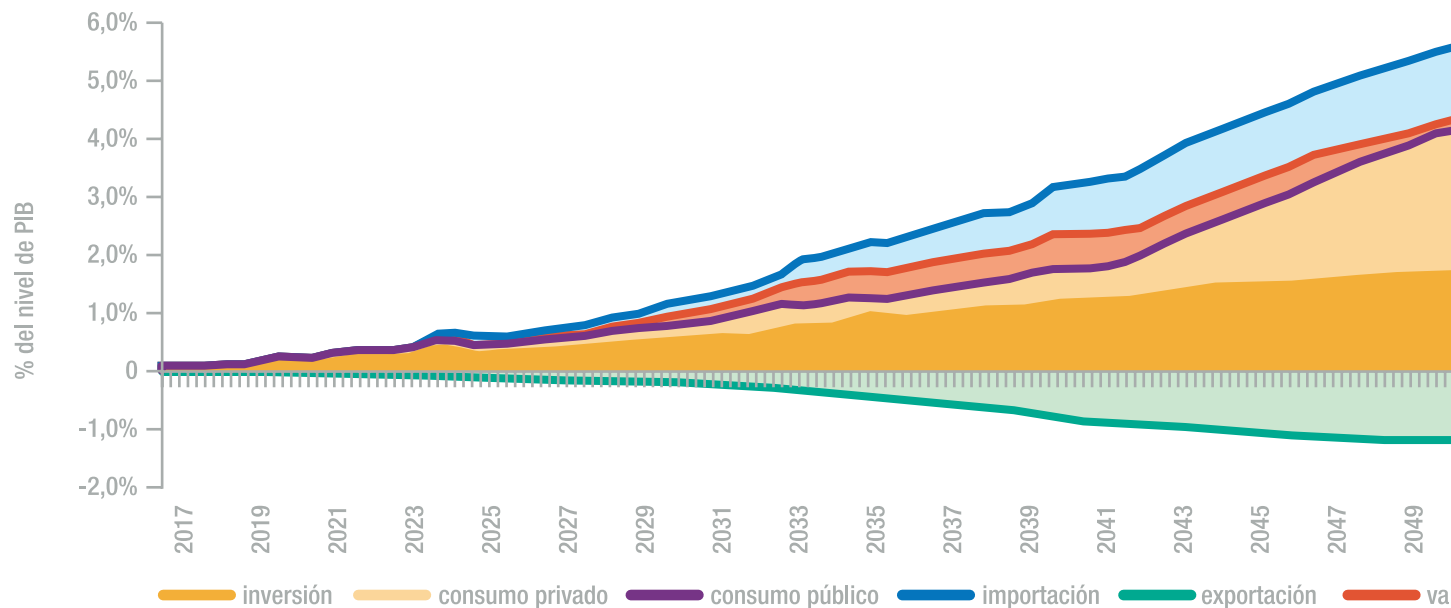


En la figura 4.3 el crecimiento agregado se descompone en actividad económica para los componentes del PIB: consumo público y privado, inversión y comercio exterior. Aquí hay por lo menos varios canales en el trabajo. Primero que todo, la implementación del paquete de intervención consiste en la reducción del uso de combustibles fósiles, la mayoría de los cuales es importado. Menos importación contribuye positivamente al crecimiento en casi 1.3% en el año 2050. Sin embargo, la reducción en la demanda de importaciones resulta en una apreciación del real tipo de cambio. Una moneda doméstica más cara causa que los bienes producidos en Chile sean menos competitivos en el exterior y como resultado las exportaciones disminuirán aproximadamente un 1,2% en 2050. La contribución general del comercio exterior para el PIB es ligeramente positiva. En segundo lugar, las firmas aumentan continuamente su eficiencia en línea con el creciente cambio en los gastos operacionales. Los beneficios de eficiencia hacen que los sueldos y utilidades de las firmas aumenten, lo que lleva a un aumento gradual en consumo doméstico. En el año 2040 se puede observar un aumento mayor en el consumo doméstico, cuando el nivel de inversiones de capital requeridos en el paquete de intervención comience a disminuir. Finalmente, el aumento en la contribución de inversión es un resultado directo de la implementación del paquete de intervención.

Figura 4.3

Impacto del paquete de intervención en componentes del PIB.

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.



El estudio también proporciona un análisis de los efectos del paquete de intervención en sectores seleccionados que se consideran como los principales emisores de dióxido de carbono. En general, el paquete de intervención es exitoso en dissociar el crecimiento del uso de combustible fósil. Las figuras 4.4 y 4.5 muestran que las emisiones de los sectores de Minería, Industria y Transporte podrían disminuir entre un 62% y 80% en relación al escenario de base de referencia. Al mismo tiempo, las intervenciones tienen un impacto positivo importante en el valor agregado en estos sectores. El principal impulsor detrás de estos aumentos en el valor agregado son las ganancias en eficiencia que resultan de la disminución de los gastos operacionales. El sector de transporte podría acumular las mayores ganancias de aproximadamente 18%, mientras que el sector de Minería podría ver aumentos de solo el 4.3%. La diferencia en los resultados entre los sectores son principalmente el resultado del hecho que la mayoría del producto del sector Minero es exportado, mientras que el aumento en la tasa de cambio real y la disminución de la demanda desde el extranjero compensarán parte de las ganancias de eficiencia en el sector. La diferencia en resultados entre estos sectores resalta la importancia del canal de comercio exterior.

Un cuadro diferente aparece para el sector de Electricidad, que se muestra en el panel de la izquierda en la Figura 4.5. La mayoría de las intervenciones en el paquete de política asumen la electrificación de industrias seleccionadas, lo que resulta en una mayor demanda por electricidad a costas de la reducción del uso de combustible fósil. Por lo tanto, el sector de electricidad como un todo, podría experimentar un aumento en la demanda, lo que compensa algo de los esfuerzos de des carbonización conducidos en el sector de electricidad. En general, la generación de electricidad con combustible fósil puede experimentar una ligera caída, donde el valor agregado de la electricidad producido por fuentes renovables podría aumentar hasta un 12% en el 2050.

Figura 4.4

Impacto del paquete de intervención en las emisiones y valor agregado en los sectores de la Industria (panel izquierdo) y de la Minería (panel derecho).

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.

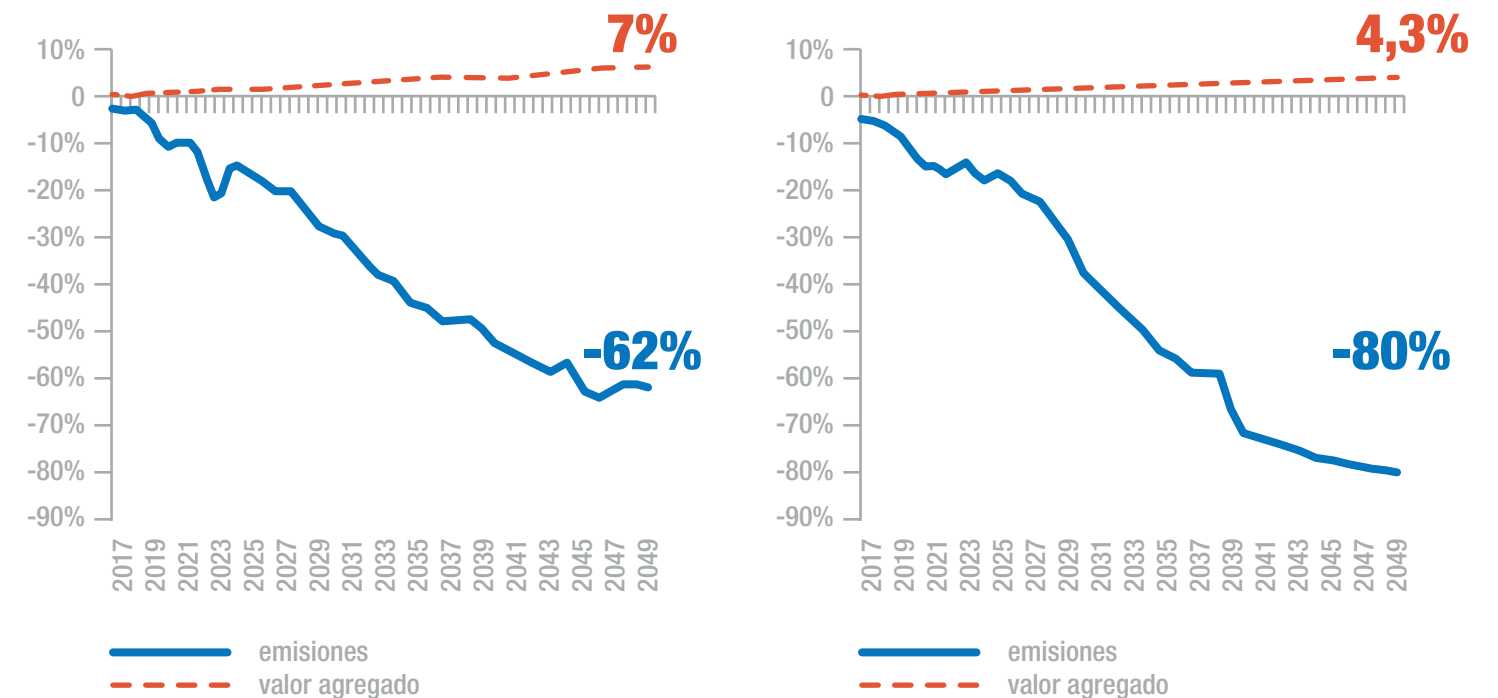


Figura 4.5

Impacto del paquete de intervención en las emisiones y valor agregado en sectores de Electricidad (panel izquierdo) y Transporte (panel derecho).

Source: Prepared by the authors using MEMO model.

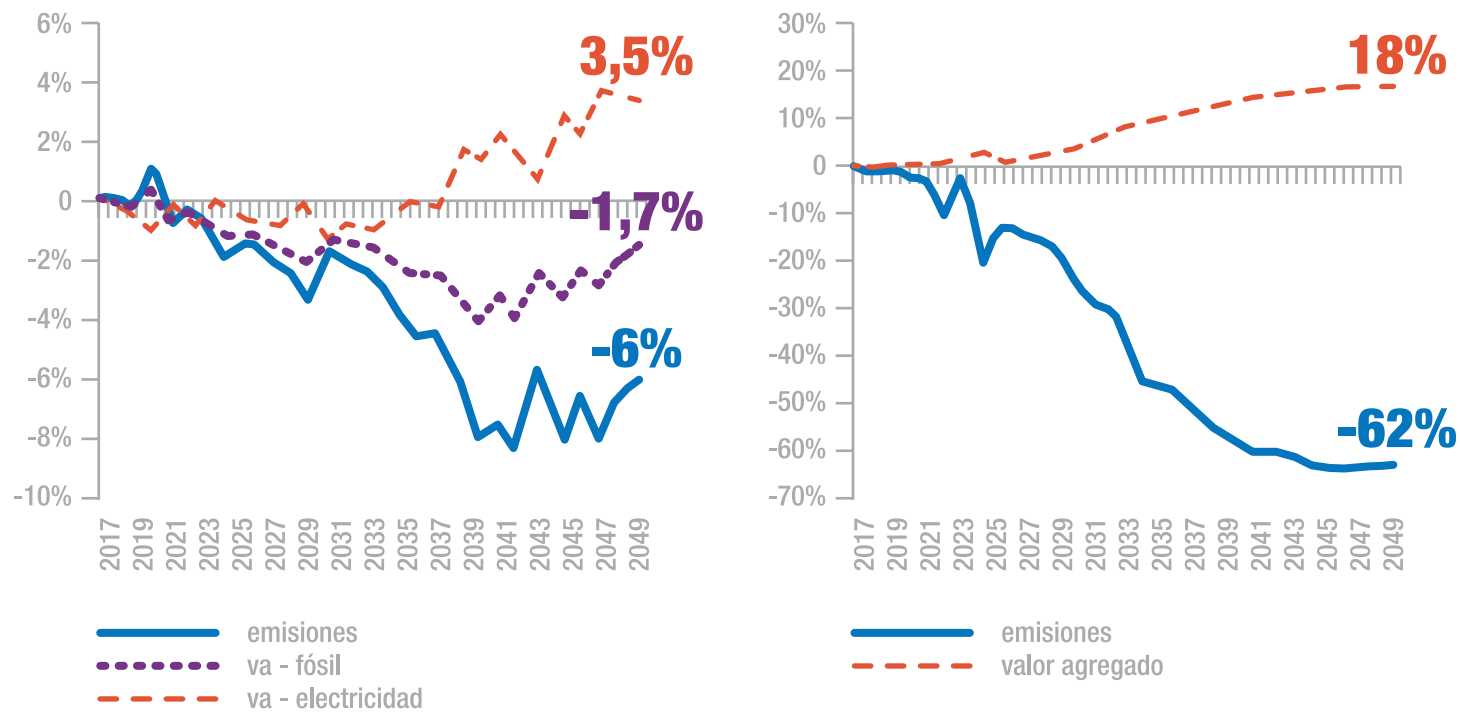


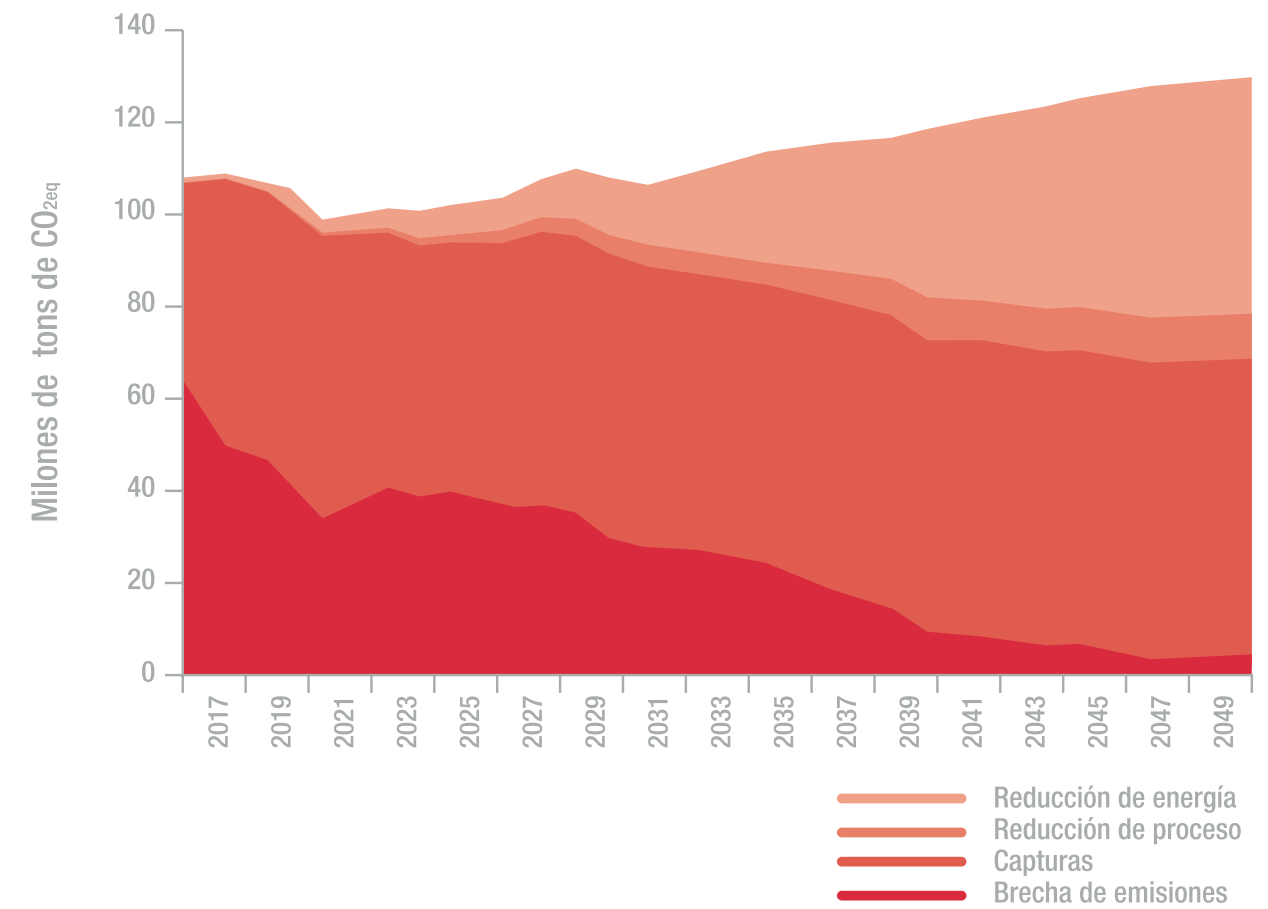
Figura 4.6 muestra la evolución de las emisiones equivalentes al total de CO_{2eq} durante el periodo de simulación. En esta figura graficamos la reducción total de CO_{2eq} previsto por el modelo MEMO para aquellas intervenciones que asumen una reducción en el uso de combustibles fósiles. El resto de la reducción inducida por la realización del paquete de intervención (tal como reducciones en los sectores de agricultura y deshechos) se observan en color gris claro como “proceso”. En general, el paquete de intervención nos puede llevar muy cerca de lograr la neutralidad climática, con el intervalo en emisiones, entendida como la diferencia entre las emisiones y capturas totales en 2050, que será igual a aproximadamente 4,5 millones de toneladas de CO_{2eq}. La diferencia entre este valor y la predicción de expertos del sector surge de dos fuentes. La primera razón es que el modelo macroeconómico predice un aumento en la actividad económica general relativa a la base de referencia, de ese modo aumentando las emisiones. La segunda fuente, pueden ser posibles inconsistencias en las fuentes de información usada para la construcción del modelo macroeconómico (cuentas nacionales y uso intermedio de matriz IO) y la información utiliza por los expertos del sector, como se discute en las conclusiones.

En estas simulaciones económicas, la reducción en el uso de combustible fósiles particulares, medidas como volumen, no calza exactamente con las vías desarrolladas por expertos del sector del Ministerio de Energía. Las discrepancias surgen del hecho de que este ejercicio se basa en débil enlace de los modelos de energía y económico, y usando el output del anterior como el input del posterior. Además, estos modelos difieren en su supuesto explícito e implícito en relación a precios futuros del combustible fósiles y vías de base de referencia del uso de estos combustibles. El principal objetivo de este ejercicio es establecer las consecuencias macroeconómicas de la implementación de las medidas de mitigación. A la luz del objetivo principal de este ejercicio, y con el fin de obtener una estimación precisa de los efectos macroeconómicos, es necesario usar datos de entrada proporcionados como valores monetarios, donde los cambios en el volumen de uso de combustible fósiles son de importancia secundaria. El inconveniente de un enfoque así es que se obtienen resultados sesgados para las emisiones y reducción de combustible fósil, pero un panorama más precios para los efectos macroeconómicos, el que es el principal foco de este reporte.

Figura 4.6

Quiebre de emisiones de CO_{2eq}, reducción de emisiones, capturas y brecha de emisiones resultantes.

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.



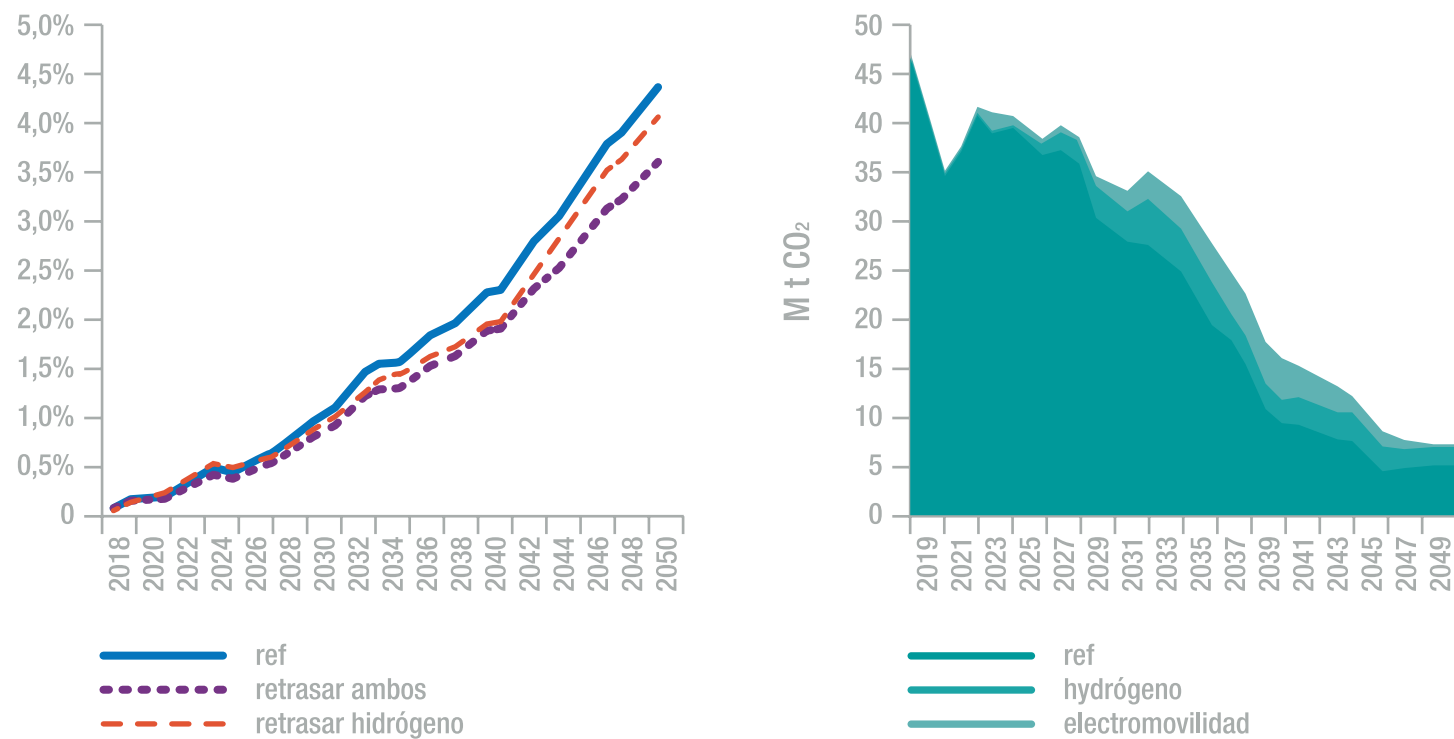
4.2. Resultados análisis de sensibilidad

Esta sección discute los resultados del análisis de sensibilidad de la simulación de referencia. En la Figura 4,7 mostramos el impacto potencial en el PIB y la brecha de emisiones, bajo el escenario donde el hidrógeno y las medidas de Electromovilidad se introducen con un retraso de 5 años debido a razones técnicas externas El retraso podría tener un pequeño impacto negativo en el PIB, con la actividad económica disminuyendo en 0.85% en el 2050, debido al hecho de que estas medidas son rentables y tienen un valor presente neto positivo. Por otra parte, la brecha de emisiones podría ampliarse en aproximadamente 2.4 Millones de toneladas de CO_{2eq}, que es un aumento del 50% relativo a la brecha estimada para el escenario de referencia.

Figura 4.7

Impacto de retrasar medidas respecto a hidrógeno y electromovilidad en el PIB (panel izquierdo) y brecha de emisiones (panel derecho) en relación a la base de referencia

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO

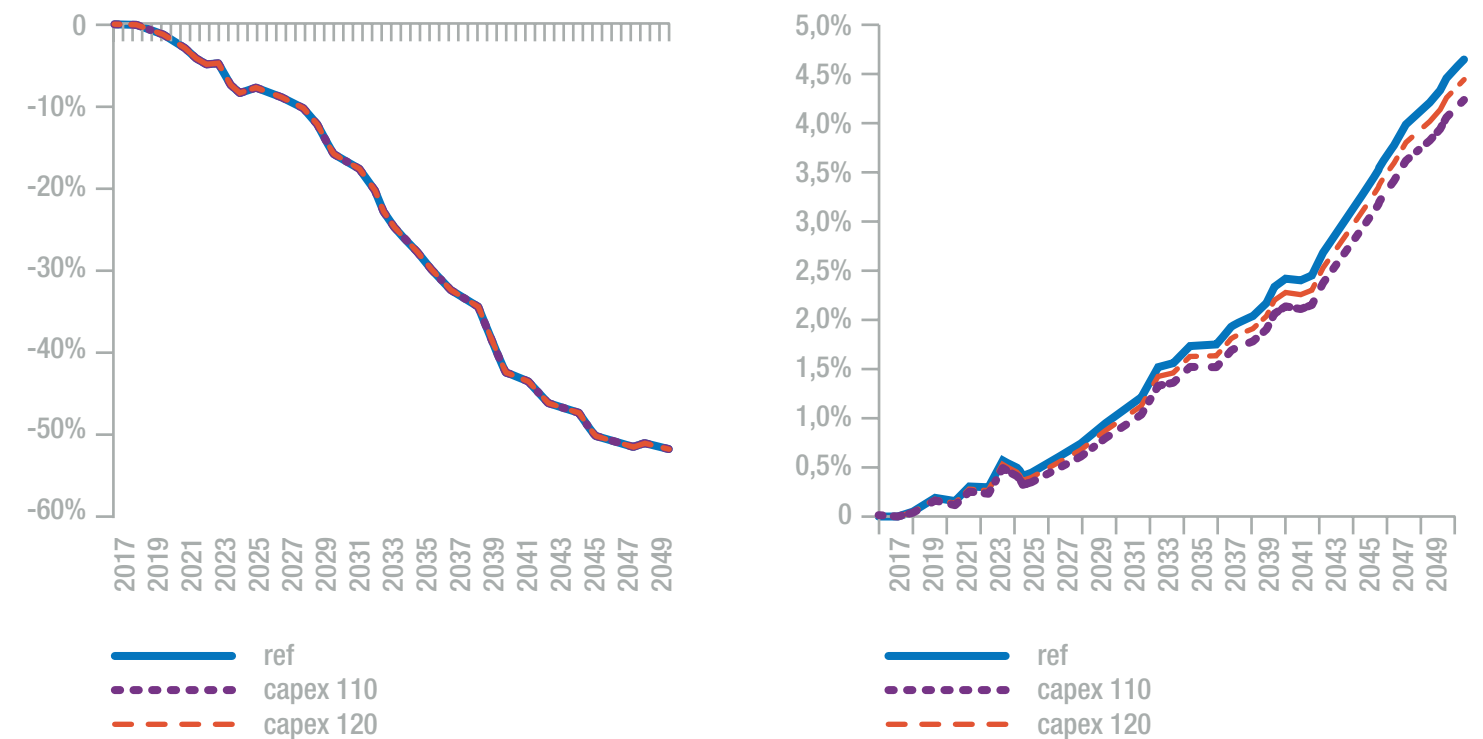


El resultado para la segunda simulación que explora la sensibilidad de los resultados a cambiar en supuestos se observan en las Figuras Figures 4.8 y 4.9. En la primera de estas figuras, mostramos la trayectoria del PIB y la reducción en emisiones para el escenario donde subestimamos los costos de capital necesarios contra el escenario de referencia. Costos de capital más altos pueden tener un impacto insignificante en las emisiones de CO_{2eq}, sin embargo, la economía puede incurrir en un pequeño costo de aproximadamente 0.14% del PIB en el 2050, por un aumento del 10% en los costos.

Figura 4.8

Impacto de un mayor CAPEX en la reducción de emisiones (panel izquierdo) y PIB (panel derecho) en relación a la base de referencia.

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO



Por otra parte, una subestimación sobre los beneficios de eficiencia tiene un impacto más serio tanto en la economía como en las emisiones. La brecha de emisiones podría aumentar en 4,9 millones de toneladas de CO_{2eq} en el año 2050, el que es un doble aumento si el aumento en el consto operacional es sobre estimado en los 10% (opex 90). El menor beneficio de eficiencia podría también impactar al PIB, reduciéndolo en aproximadamente. En la tabla 4,1 se muestra un resumen de los resultados de sensibilidad.

Figura 4.9

Impacto de un menor ahorro de OPEX en la reducción de emisiones (panel izquierdo) y PIB (panel derecho) con relación a la base de referencia.

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO

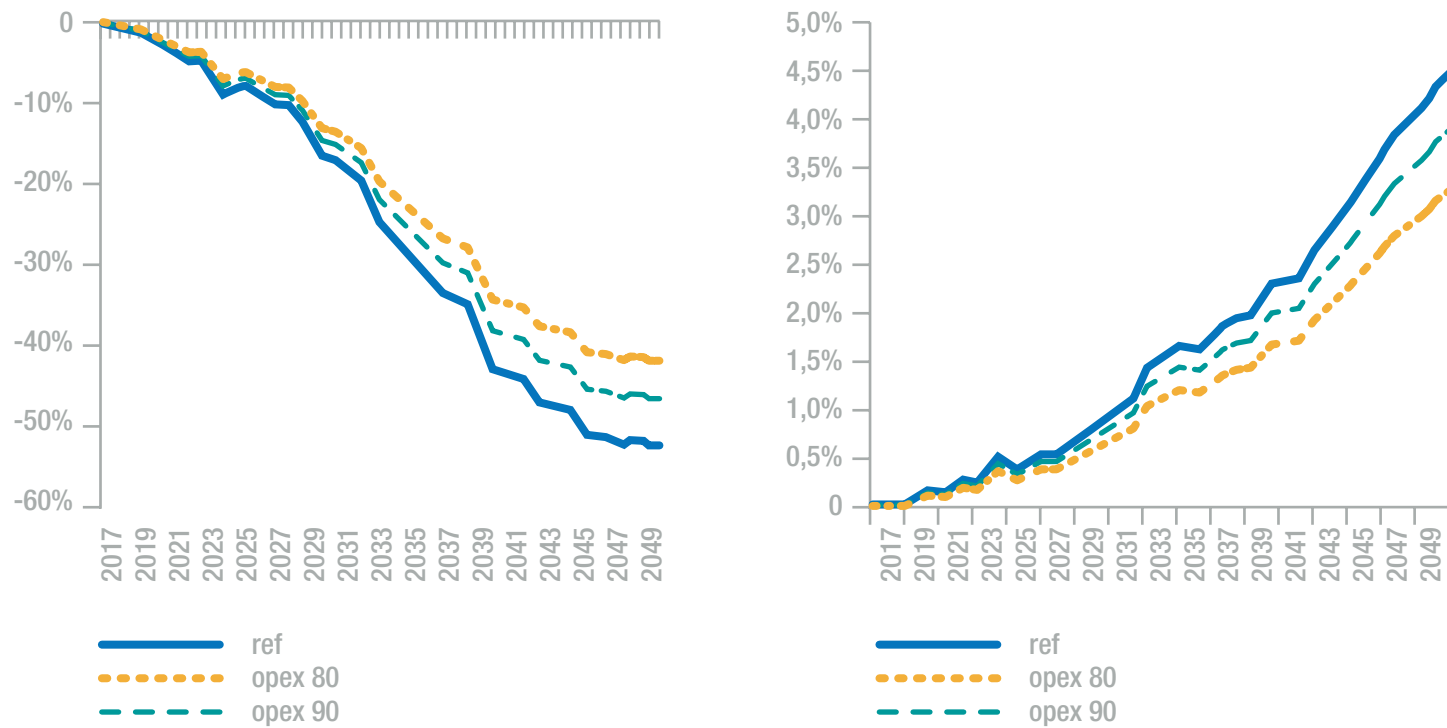


Tabla 4.1

Resumen de análisis de sensibilidad - resultados mostrados como una desviación de la base de referencia para el año 2030 y 2050 para PIB y emisiones de CO2eq.

Escenario	GDP		Emisiones	
	2030	2050	2030	2050
Referencia	0,96%	4,35%	-17,2%	-52,4%
Opex90	0,81%	3,78%	-15,5%	-47,4%
Opex80	0,66%	3,20%	-13,9%	-42,3%
Capex110	0,90%	4,21%	-17,3%	-52,6%
Capex120	0,85%	4,07%	-17,3%	-52,8%
Retraso en medidas de hidrogeno	0,82%	4,05%	-13,3%	-50,6%
Retraso en medidas de electromovilidad	0,94%	3,90%	-15,7%	-52,1%
Retraso en ambas medidas	0,80%	3,60%	-11,8%	-50,2%

4.3. Simulación Impuesto al Carbono

El estudio también muestra el impacto macroeconómico de aumentar el nivel de impuesto al carbono en Chile. El estudio aumenta linealmente la tasa de impuesto al carbono, del nivel base de US\$5 por tonelada en 2017 a un nivel que reduce emisiones en 4,5 millones de toneladas que representa una brecha no explicada ni por el modelo ni por las emisiones capturadas de CO2eq como se presenta en la Figura 4,6, garantizando así la neutralidad de carbono en el año 2050. La Figura 4.10 muestra el efecto en el PIB de implementar tal tasa impositiva. Se espera que el impuesto disminuya el nivel de PIB en un máximo de 0.04% al final del horizonte de simulación. El aumento en la tasa impositiva necesario para lograr esta reducción es de casi US\$10,7 por ton. El impuesto es recaudado en todas las emisiones relacionadas con el uso de carbón, gas y petróleo por todos los sectores (incluyendo el doméstico) sin tributar las emisiones indirectas y libres de carbono.

Este resultado debe ser tratado con precaución, ya que asumimos que el impuesto es una medida adicional al paquete de intervención, y su objetivo es cerrar la brecha de las emisiones restante necesaria para lograr la neutralidad. Podría ser el caso de que el paquete de intervención agote la mayoría de las capacidades técnicas de las reducciones de emisiones. Si este fuera el caso, lograr una disminución adicional en las emisiones requeriría una tasa impositiva más alta de la estimada. El impacto del programa de impuesto al carbono al uso de combustible fósil se muestra en la Figura 4.11. La caída reportada en esta figura es una caída adicional a la resultante de la implementación del paquete de intervención informado en la sección anterior. El impuesto al carbono tiene el impacto más fuerte en el uso de carbón ya que este combustible es el más barato en relación a su contenido de carbono. Este resultado muestra que el impuesto al carbono puede ser una medida efectiva para reducir las emisiones de carbono el sistema de generación de electricidad, que actualmente depende del carbón.

Figure 4.10

Impacto adicional en el PIB por aumento de impuesto al carbono necesario para cerrar la brecha de emisiones en 4,5 millones de toneladas en el 2050.

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.

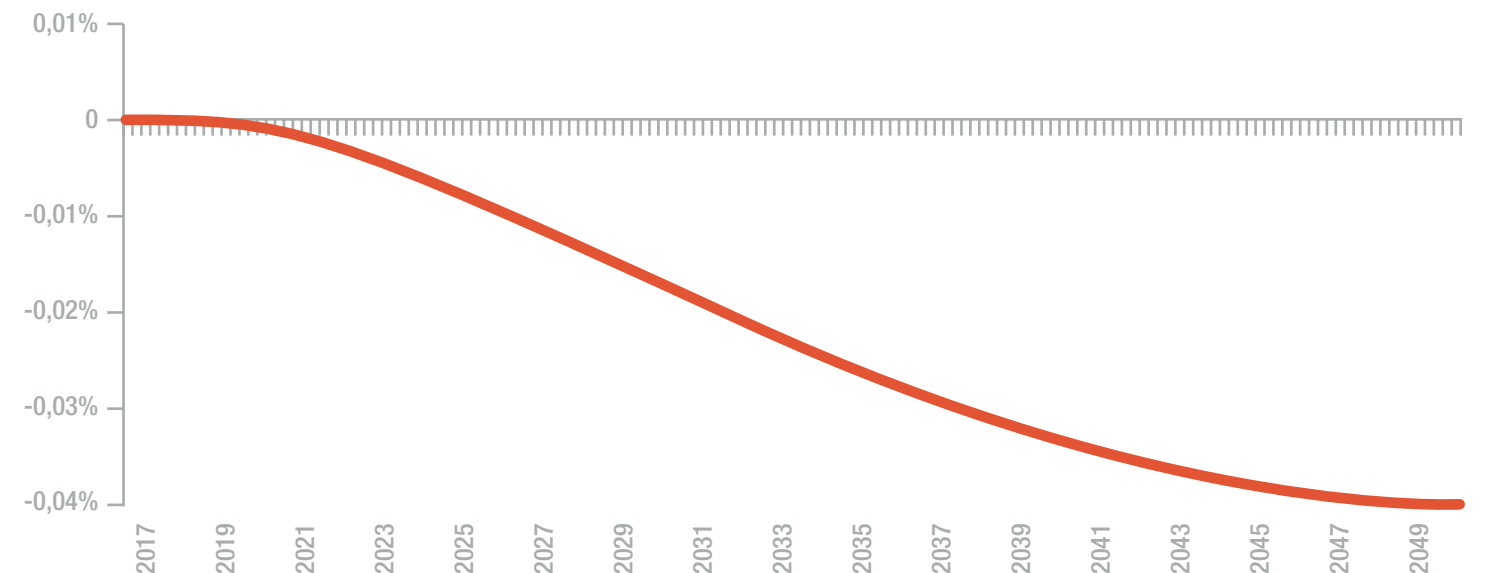
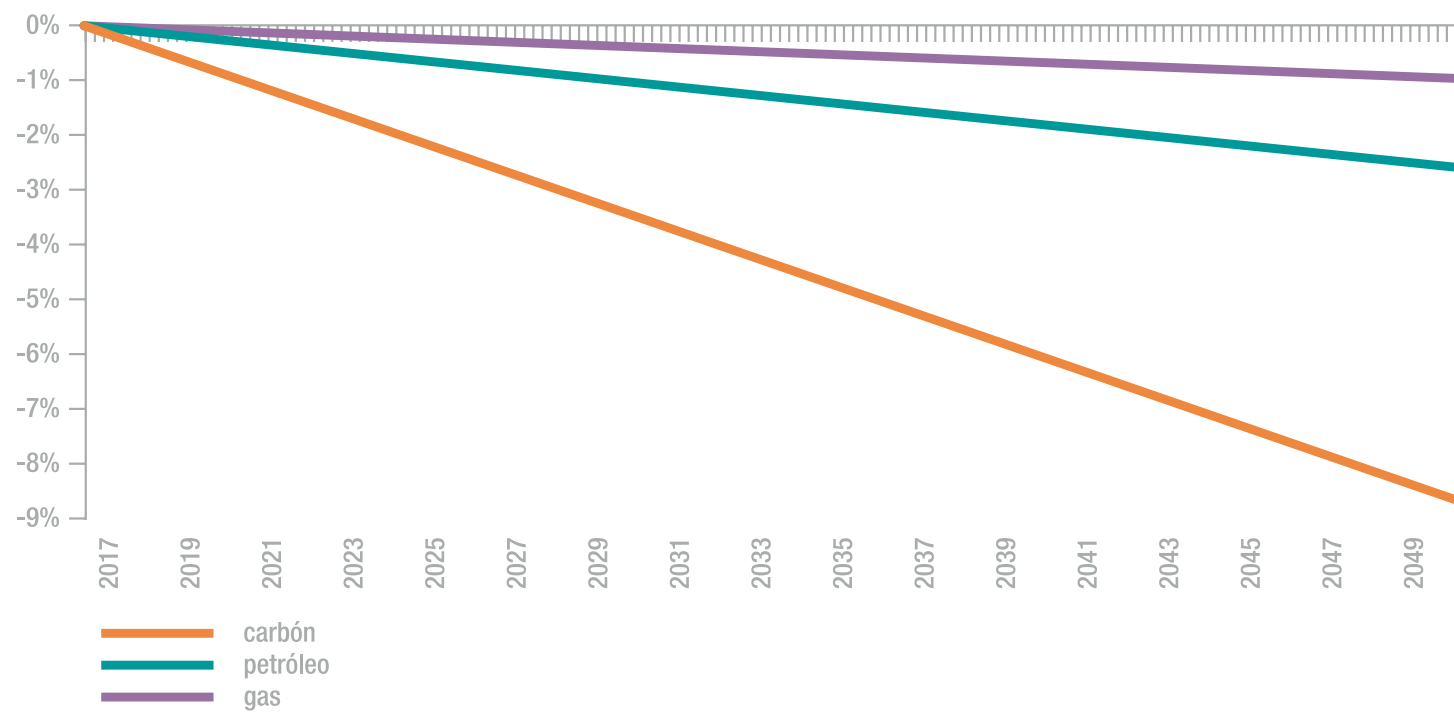


Figura 4.11

Impacto adicional de uso de combustible fósil y de impuesto al carbono necesario para cerrar la brecha de emisiones de 4,5 millones de toneladas en el 2050

Fuente: Preparado por los autores usando el modelo MEMO.



5. COMENTARIOS Y TRABAJO FUTURO

El estudio pretende actualizar, recalibrar y desarrollar un modelo macroeconómico para Chile, para ser usado en la evaluación de intervenciones propuestas para cumplir con el NDC Chileno, recientemente actualizado, y para lograr las cero emisiones de netas de CO₂eq comprometidas. Para el 2050. Usando el CAPEX y OPEX estimados y proporcionados por los Ministerios de Medio Ambiente y Energía, el estudio analizó el impacto en el valor agregado para la economía, la actividad sectorial, la demanda de la economía, y las implicancias de retrasar la implementación y variar los costos del paquete de mitigación. En general, Chile es un ejemplo perfecto de un país que se puede beneficiar enormemente de una transición sustentable a una economía verde. Los resultados para los principales indicadores económicos son positivos, mostrando que la disociación de la actividad económica y emisiones es posible.

Los resultados muestran que, bajo el paquete de mitigación propuesto, el crecimiento PIB puede aumentar a una tasa de 0,13 p.p. más alta que en el escenario de base de referencia, resultando en un aumento del 4,4% del nivel de PIB para el 2050. Esto se debe a los aumentos en el valor agregado de la inversión, consumo privado, consumo público y a una alta reducción de importaciones y exportaciones. El paquete de mitigación propuesto puede llevar a la reducción del uso de combustibles fósiles y las correspondientes emisiones en los sectores principales, con un remanente de emisiones de 4,5 millones de toneladas de CO₂eq sobrante para lograr la neutralidad. La mayor demanda de electricidad impulsa el valor agregado de las fuentes renovables y una moderada reducción de emisiones en el sector de generación. El análisis de sensibilidad muestra que un retraso en la introducción de medidas pone en riesgo el logro de las emisiones netas cero para el 2050, ampliando la brecha en aproximadamente 2,4 millones de toneladas de CO₂eq, lo que es un aumento del 50% con respecto a la brecha estimada para el escenario de referencia. Además, los resultados muestran que la sobre estimación de los valores de ahorro de OPEX tienen un impacto más alto en las emisiones y en el nivel de PIB que la subestimación del gasto de capital necesario.

Se deben considerar varias advertencias al analizar los resultados presentados en este informe. Primero, la base de referencia es creada con el escenario macroeconómico antes de octubre 2019. Segundo, en relación a la naturaleza del modelo, las medidas de mitigación son simuladas independientemente de perder las posibles interacciones y sus efectos, y los resultados pueden cambiar dependiendo del tipo de financiamiento, cierre de presupuesto e información CAPEX-OPEX. Por lo tanto, hay inconsistencias entre la información de las Cuentas Nacionales y el planteamiento usado por expertos para construir la información de OPEX, y aparte del análisis de sensibilidad, el estudio no varía los parámetros o suposiciones que cambien el CAPEX, OPEX y emisiones de base de referencia.

Los resultados presentados en este informe muestran el efecto macroeconómico general de la implementación del paquete de intervención. Mientras este impacto sea positivo, este análisis podría ser mejorado e implementado con investigación más profunda en varios temas definidos más estrechamente. Por ejemplo, la transformación a una economía carbono neutral generará ganadores y perdedores en la economía. La identificación de los actores perdedores y asegurar su apoyo para la transformación económica es crucial. Las industrias orientadas a la exportación, la minería primaria de recursos naturales se destaca como posibles perdedores. Además, hay una alta posibilidad de que el precio de los portadores de energía también pueda aumentar, especialmente si se introduce un impuesto al carbono para suplementar el paquete de intervención. Este aumento, junto con las transiciones en los mercados laborales, podrían inducir a una resistencia comprensible de parte





del público general. Por lo tanto, es crucial entender completamente los impactos redistributivos de las políticas propuestas usando, por ejemplo, modelación de micro simulación basada en información de encuesta de presupuesto doméstico. Para asegurar el apoyo público y beneficios claros, se debieran realizar investigaciones sobre los diversos co-beneficios de una transformación verde, por ejemplo, resaltar los beneficios en la salud al reducir la contaminación del aire.

Se necesitará un trabajo futuro para analizar la incertidumbre alrededor de estas evaluaciones para poder informar mejor de los resultados esperados de estas políticas. Los siguientes pasos podrían tomarse en esa dirección: primero, es necesario iterar sobre las suposiciones y crear diferentes escenarios para el capital proyectado y los gastos operacionales, así como para las reducciones de emisiones para cada medida, y hacer más análisis de sensibilidad. Estos ejercicios proporcionarán un mejor entendimiento a los responsables de las políticas en el gobierno en la solidez de la medición de política. Segundo, las trayectorias proyectadas de PIB y otras variables económicas cambian en el tiempo, y por lo tanto se requerirá incorporar nuevas proyecciones a las medidas para volver a reiterar los gastos proyectados y emisiones reducidas en forma consistente. Tercero, la naturaleza de la tecnología cambia en la economía, y la estructura del modelo no permite evaluar simultáneamente las interrelaciones de las medidas y otras herramientas físicas tales como el impuesto al carbono.

Además, el estudio no ha analizado la forma en que las medidas del paquete de mitigación serán financiadas. Como implicancias económicas y financieras positivas surgen de la implementación del paquete de mitigación, la espontánea participación del sector privado es esperable. Sin embargo, una pregunta para una mayor investigación que surge es ¿porque estas medidas no se han promovido para ser llevadas a cabo en el escenario de la base de referencia? Hay diversas restricciones que pueden evitar una transición suave y espontánea. Hay fallas en el mercado y en el gobierno que obstaculizar una pura provisión de mercado de mitigación, como lo resume Krogstrup & Oman (2019). Estas fallas pueden tomar forma de problemas de bien común y de polizón, inconsistencia de tiempo (tal como una toma de decisión a corto plazo), problemas de gobierno e interacciones con normas de regulación y contables, mercados de capitales incompletos e imperfectos, temas de acción colectivos y captura por grupos de interés, e incapacidad de comprometerse. El estudio recomienda realizar un profundo análisis de cómo cada uno de los obstáculos puede afectar las diferentes medidas para proporcionar las políticas de mitigación apropiadas. Las lecciones aprendidas de este ejercicio son el impacto macroeconómico de políticas sectoriales propuestas en Chile. Además, las preguntas debieran incluir como determinar las mejores herramientas y mezcla entre el sector público y privado en la implementación de las políticas. El trabajo complementario a este esfuerzo cuantitativo debe ir más allá de la economía política y administración de la implementación del plan de descarbonización para lograr la meta neta cero en el 2050. Para eso, la teoría del esfuerzo y la evidencia basada en datos, como se presenta en este trabajo, debe contribuir al desarrollo e implementación de mejores políticas públicas para asegurar que Chile pueda entregar su ambiciosa política de cambio climático.

Referencias

Abel, A., Bernake, B., Croushore, D., "Macroeconomics", 7ma edición. Addison.Wesley.

Antosiewicz, M., & Kowal, P. (2016). MEMO III - A large scale multi-sector DSGE model". IBS Research Report 02/2016. Disponible online: <http://ibs.org.pl/en/publications/memo-iii-a-large-scale-dsge-model/>

International Monetary Fund, "Fiscal Monitor, October 2019: How to Mitigate Climate Change," Fiscal Monitor, 2019.

Tom Kober, Philip Summerton, Hector Pollitt, Unnada Chewpreecha, Xiaolin Ren, William Wills, Claudia Octaviano, James McFarland, Robert Beach, Yongxia Cai, Silvia Calderon, Karen Fisher-Vanden, Ana Maria Loboguerrero Rodriguez. "Macroeconomic impacts of climate change mitigation in Latin America: A cross-model comparison", Energy Economics, Volume 56, 2016, Pages 625-636.

S. Krogstrup and W. Oman, "Macroeconomic and Financial Policies for Climate Change Mitigation: A Review of the Literature," IMF Working Paper No. 19/185, 2019

Ministerio del Medio Ambiente "NDC Chileno Propuesto y actualizado," Santiago, Chile, 2019.

Julien Lefèvre, William Wills & Jean-Charles Hourcade (2018). "Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy-economy assessment", Climate Policy, 18:10, 1286-1295, DOI: 10.1080/14693062.2018.1431198

Palma Behnke R., C. Barria, K. Basoa, D. Benavente, C. Benavides, B. Campos, N. de la Maza, L. Farías, L. Gallardo, M. J. García, L. E. Gonzales Carrasco, F. Guarda, R. Guzmán, A. Jofré, J. Mager, R. Martínez, M. Montedonico, L. Morán, L. Muñoz, M. Osses, A. Pica, M. Rojas, A. Rudnick, J. P. San Martín, A. Santander, C. Silva, S. Tolvet, R. Torres, A. Urquiza, P. Valdivia, S. Vicuña (2019). Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological Approach and Supporting Ambition. Mitigation and Energy Working Group Report. Santiago: COP25 Scientific Committee; Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.

Jason Veysey, Claudia Octaviano, Katherine Calvin, Sara Herreras Martinez, Alban Kitous, James McFarland, Bob van der Zwaan." Pathways to Mexico's climate change mitigation targets: A multi-model analysis", Energy Economics, Volume 56, 2016, Pages 587-599.

Oportunidades de crecimiento verde para la meta de descarbonización en Chile

Informe sobre los efectos macroeconómicos de implementar políticas de mitigación de cambio climático en Chile.