



Opciones para lograr la neutralidad en carbono para 2050 en Chile en condiciones de incertidumbre

Resumen Ejecutivo Fase II

Modelación y Análisis

**Centro de Energía Universidad de Chile, Centro Cambio Global UC,
Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales UC,
Tecnológico de Monterrey, Rand Corporation, Banco Interamericano
de Desarrollo.**

Coordinadores:

Luis Gonzales, David Groves, Marcela Jaramillo,
Edmundo Molina, Rodrigo Palma, Andrés Pica, Cristian Salas

Autores:

Carlos Benavides, Luis Cifuentes, Manuel Díaz, Luis Gonzales, Diego González,
Horacio Gilabert, David Groves, Marcela Jaramillo, Catalina Marinkovic, Luna Menares,
Francisco Meza, Edmundo Molina, Marcia Montedonico, Rodrigo Palma, Andrés Pica,
Cristian Salas, Rigoberto Torres, José Miguel Valdés, Adrien Vogt-Schilb.

Abril, 2021

Preparado por el Banco Interamericano de Desarrollo

Resumen corto

Chile busca alcanzar la carbono-neutralidad del país al 2050, y su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) propone una estrategia para llegar a ese objetivo a través de una serie de transformaciones sectoriales, como cerrar las centrales a carbón, fomentar la electromovilidad y aumentar las capturas de los Bosques. Este estudio evalúa el desempeño de dicha estrategia bajo una amplia gama de incertidumbres económicas, ambientales y tecnológicas, identificando vulnerabilidades de la estrategia. Luego, genera evidencia científica para desarrollar propuestas de robustecimiento de la NDC, basado en medidas adicionales, tales como: el retiro acelerado de las centrales eléctricas de carbón, el fomento del teletrabajo, el transporte no motorizado, la reducción de consumo de carne de vacuno, la expansión del reacondicionamiento térmico de viviendas, el aumento en la forestación, el manejo sustentable de bosques y el incremento en las áreas protegidas. Finalmente, una evaluación macroeconómica encuentra que robustecer la NDC resultaría en una ganancia neta de 0.8% del nivel del PIB al 2050.

Resumen Ejecutivo

Chile, como parte de los países que han ratificado el Acuerdo de París, tiene el compromiso de cumplir con las acciones y objetivos establecidos por su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). La NDC busca alcanzar la carbono-neutralidad del país al 2050, un objetivo alineado con los esfuerzos internacionales por detener el aumento de la temperatura promedio global entre 1.5 y 2oC (BID y DDPLAC, 2019 [1]). La NDC de Chile se suscribe dentro del proyecto de Ley Marco de Cambio Climático para Chile, el cual establece un conjunto de transformaciones sectoriales y objetivos específicos para alcanzar la carbono-neutralidad en 2050. En particular mantener las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por debajo 95 MtCO₂eq al 2030, tener un peak de emisiones antes del 2025 y mantener el presupuesto de emisiones de GEI por debajo de 1,100 MtCO₂eq para el período 2020-2030 (Gobierno de Chile, 2020)[2].

Esta ambición y liderazgo climático da pie a dos grandes desafíos de política pública en Chile. Por un lado, las transformaciones sectoriales necesarias para alcanzar la carbono-neutralidad consideran una amplia y diversa gama de acciones (e.g., electrificación del transporte, retiro de centrales a carbón, reforestación, ver Tabla RE-1) que deben ser

armonizadas a nivel sectorial para cumplir con el objetivo de mitigación a nivel nacional. Por otro lado, la consecución exitosa de los objetivos de la NDC depende de un amplio abanico de factores inciertos que determinarán el desempeño y costos de estas acciones en el futuro (e.g., incendios forestales, costos de tecnologías de mitigación, crecimiento de la demanda de electricidad, etc.) y que deben ser considerados para robustecer la NDC.

En respuesta a estos desafíos, este estudio provee evidencia científica para la actualización de la NDC. Estima, en una amplia gama de escenarios económicos, ambientales y tecnológicos, la capacidad de las transformaciones sectoriales incluidas en la NDC de cumplir con tres objetivos específicos: 1) alcanzar la carbono neutralidad en 2050, 2) mantener las emisiones de GEI por debajo 95 MtCO₂eq al 2030 y 3) no exceder el presupuesto de emisiones de GEI establecido para el período 2020-2030. Identifica la combinación de factores que vulneran la posibilidad de cumplir con estos objetivos de desempeño y utiliza esta evidencia para desarrollar propuestas de expansión que mitiguen las vulnerabilidades identificadas. Esto incluye la implementación de acciones adicionales (i.e. transformaciones sectoriales) que puedan ser implementadas de manera modular en respuesta a cambios en el entorno.

El estudio es fruto de tres etapas : 1) un proceso de co-construcción a través del cual expertos y actores claves de los sectores Energía, Transporte, Industria y Minería, Bosques y Biodiversidad, Agricultura y Residuos) expresaron sus visiones acerca de las prioridades y métricas de éxito para alcanzar la carbono-neutralidad, 2) el desarrollo de un Modelo Integrado de Evaluación (MIE) que soporta el proceso de análisis en todos estos sectores y 3) un análisis de vulnerabilidad empleado para desarrollar propuestas de robustecimiento de la NDC. Estos tres elementos son interconectados a través del marco de referencia Toma de Decisiones Robustas (RDM, por sus siglas en inglés).

El proceso de co-construcción constó de dos fases de consulta. La primera instancia consistió en 6 talleres temáticos en los que participaron un total de 148 actores provenientes del Sector Público, Privado, Gremial, ONGs, Academia y Organismos Internacionales. Esta convocatoria diversa permitió generar diálogos temáticos para la estructuración sistemática del contexto de decisión. La segunda ronda de talleres presentó a los participantes los resultados preliminares del análisis de vulnerabilidad y recogió la retroalimentación de los participantes sobre la validación de los modelos sectoriales, definición de los rangos de incertidumbre considerados, sugerencias de mejora al estudio y recomendaciones sobre la inclusión de acciones adicionales a las planteadas en la NDC.

El segundo elemento del estudio consistió en el desarrollo de un MIE que permitió el análisis multisectorial bajo incertidumbre. Esta plataforma de modelación toma como base los modelos ya desarrollados para Chile por el equipo de investigación y los conecta con nuevos modelos desarrollados específicamente para este estudio. Los modelos cubren todos los sectores del inventario de GEI: Energía (generación eléctrica, transporte, comercio, público, residencial, industria y minería), Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU de su sigla en inglés), Economía Circular (Residuos), Bosques y Biodiversidad (Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura) y Agricultura.

Como resultado del ejercicio, encontramos que las transformaciones sectoriales establecidas en la NDC son capaces de permitir que el país cumpla con el objetivo de carbono-neutralidad en 2050. Las emisiones netas efectivamente disminuirán de 50 MtCO₂e en 2019 a ligeramente menos que cero en 2050. Una proporción sustancial de esta reducción es debido a la disminución de emisiones en el sector eléctrico y el incremento en el secuestro de carbono en el sector de Bosques y Biodiversidad (Figura RE 1). Sin embargo, considerando los supuestos base bajo los cuales se desarrolló la NDC, estimamos que es necesario incluir acciones adicionales para cumplir con los objetivos de mitigación y de presupuesto de carbono planteados para 2030 ya que las emisiones totales en 2030 se incrementan ligeramente (ver sección 5.2). Las emisiones del sector eléctrico disminuyen, pero no lo suficiente para compensar los incrementos en los sectores Transporte, Residencial, Comercial, Agricultura, Economía Circular e Industria y Minería.

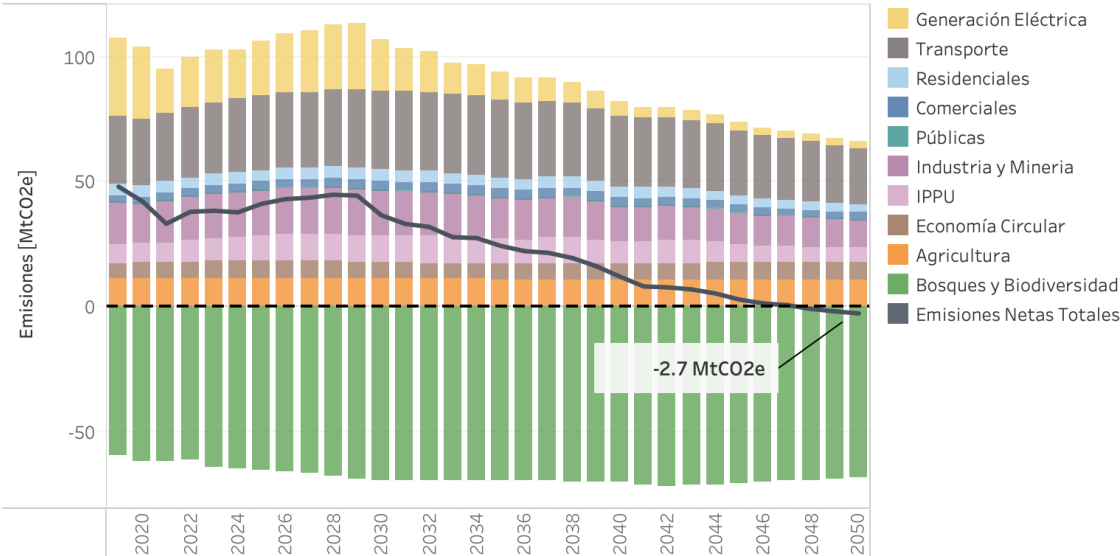


Figura RE-1 Emisiones por sector para el escenario de referencia y la estrategia NDC.
Fuente: Elaboración propia.

Es plausible que muchas de las suposiciones empleadas para el desarrollo de la NDC cambien en el futuro y que esto afecte su capacidad de cumplir con los objetivos de mitigación listados anteriormente. Por ejemplo, algunas de las tecnologías de mitigación, cómo los vehículos eléctricos, consideradas en la estrategia actual pueden resultar más o menos costosas en el futuro, así mismo la capacidad de secuestro de los bosques puede incrementar o disminuir en respuesta al cambio en los patrones de clima. De tal manera que es vital identificar los factores más determinantes para cumplir los objetivos de mitigación y establecer recomendaciones concretas que la hagan una estrategia más robusta ante el futuro incierto.

El estudio describe el desempeño de la NDC considerando dos dimensiones: emisiones de GEI resultantes de las transformaciones sectoriales consideradas, y los costos económicos asociados con su implementación. Este desempeño es analizado considerando un conjunto de 1,000 futuros diferentes. Cada uno de estos futuros se desarrolló considerando decenas de factores de incertidumbre reportados como importantes en los talleres participativos (Capítulo 4), entre estos se encuentran factores económicos (e.g., niveles de producción de actividades mineras), tecnológicos (costos de inversión de tecnologías de mitigación) y ambientales (e.g., desempeño de las plantaciones forestales y bosques nativos) que determinan la demanda de energía en diferentes sectores económicos, la demanda de transporte, el costo de satisfacer las necesidades energéticas de Chile y el desempeño de diversas medidas de mitigación. La Figura RE-2 muestra el comportamiento de la NDC bajo cada uno de estos futuros. Muchas trayectorias de emisiones plausibles terminan muy por arriba del objetivo de carbono-neutralidad (71% de los escenarios presentados acaban por encima de 5 MtCO₂eq). El rango de emisiones en 2050 es bastante amplio cubriendo un rango entre -13.7 y 31.2 MtCO₂eq.

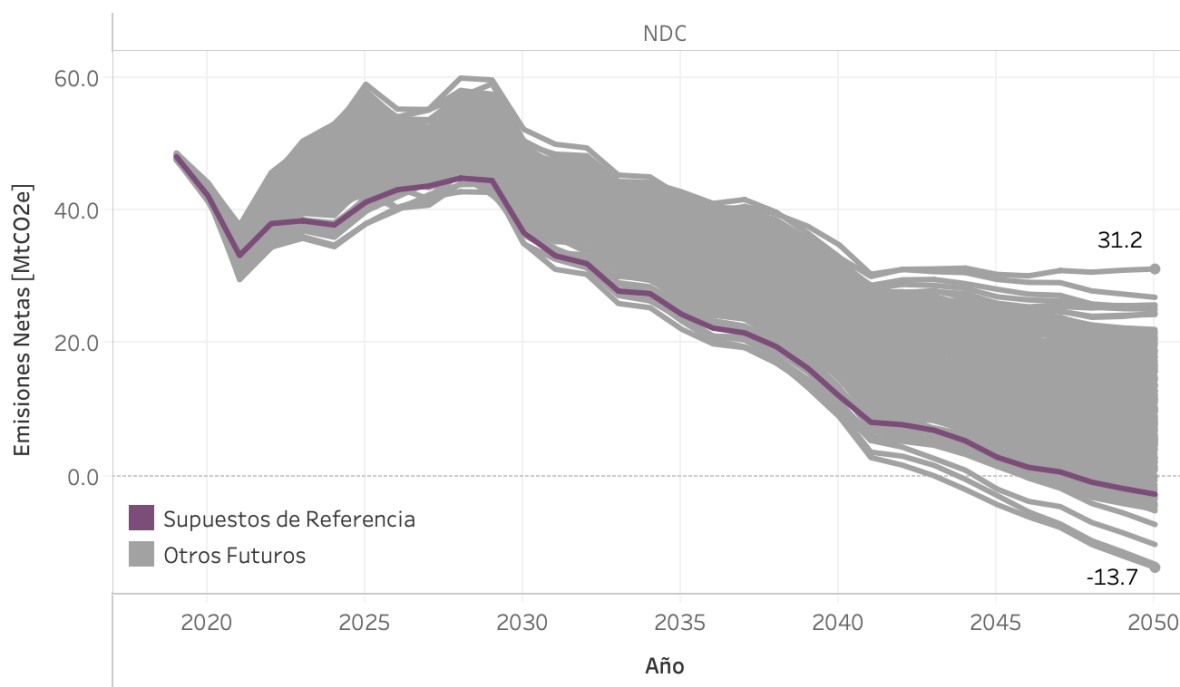


Figura RE-2: Emisiones netas totales hasta 2050 en 1,000 futuros para la estrategia NDC.
Fuente: Elaboración propia

La primera condición de vulnerabilidad, denominada “Bajo nivel de secuestro de los bosques y baja tasa de electrificación del transporte”, está definida por la combinación de los siguientes factores impulsores (i.e., incertidumbres más determinantes en esta condición de vulnerabilidad):

- Alta frecuencia de cosecha forestal
- Bajo rendimiento de bosques nativos (i.e., toneladas de biomasa por hectárea de bosque)
- Bajo rendimiento de plantaciones (i.e., toneladas de biomasa por hectárea de plantación)
- Baja electrificación del transporte privado

Esta condición de vulnerabilidad captura el 55% de todos los casos en que las emisiones en 2050 se encuentran por encima de 5.0 MtCO₂eq (79/143). Adicionalmente, dentro del conjunto de futuros que comparten estas condiciones, el 94% de ellos son futuros que se encuentran por encima del umbral de 5.0 MtCO₂eq en 2050. La Figura RE-3 ilustra estas condiciones. El panel de la izquierda muestra el comportamiento en el tiempo de cada uno de los futuros considerados dentro de cada factor impulsor. En color naranja se indica el conjunto de futuros bajo los cuales existe esta vulnerabilidad. El panel de la derecha

muestra la interacción que existe entre los factores impulsores y las emisiones totales en 2050 (i.e., cada punto denota un futuro distinto). Las líneas y puntos verdes describen el comportamiento de los diferentes impulsores bajo los supuestos actuales. La interacción de estos cuatro factores impulsores está predominantemente asociada con futuros que exceden el umbral de vulnerabilidad de altas emisiones (i.e., 5.0 MtCO₂eq en 2050)

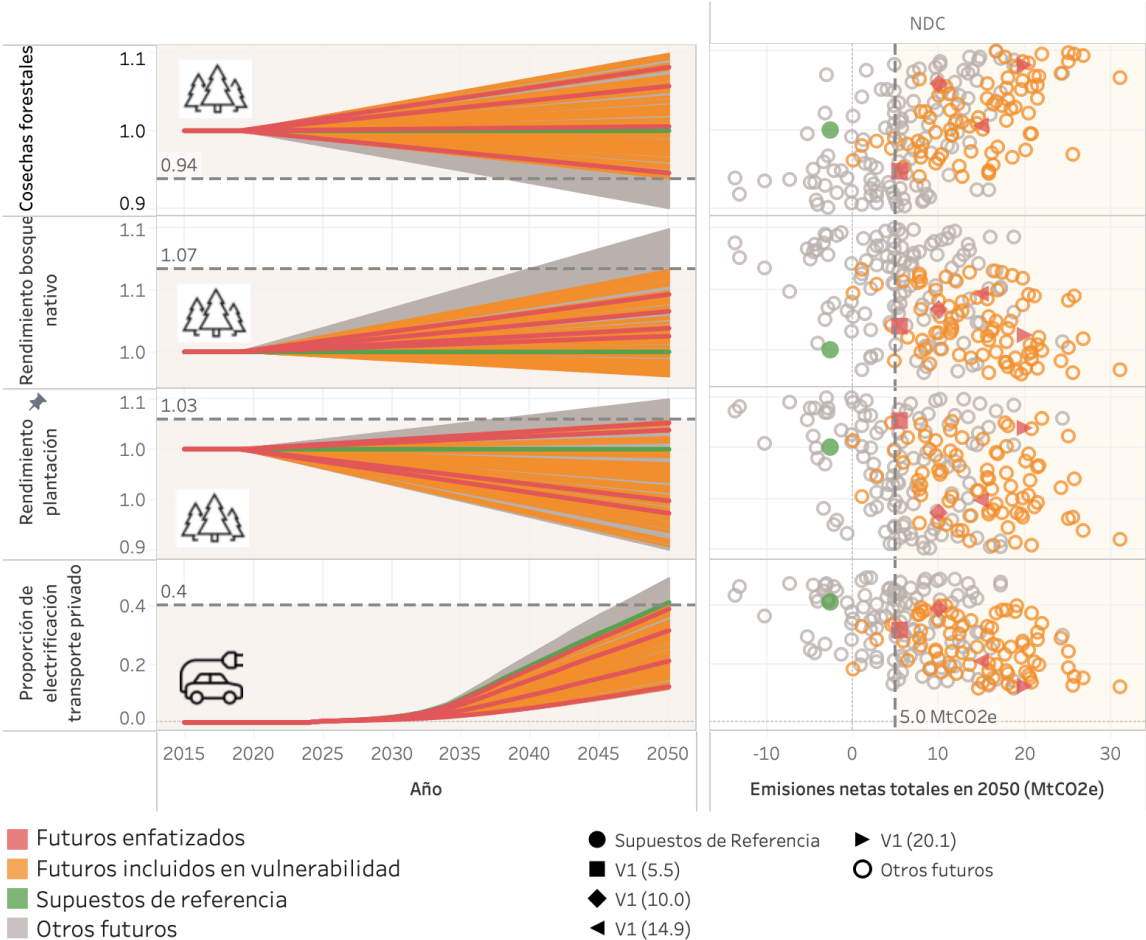


Figura RE-3 Condición de vulnerabilidad 1.

Factores impulsores de vulnerabilidad “Bajo nivel de secuestro de los bosques y baja tasa de electrificación del transporte” a lo largo del tiempo (izquierda) y diagrama de dispersión entre factores impulsores y emisiones netas en 2050 (derecha) para la estrategia NDC. Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las líneas y círculos naranjas corresponden a futuros asociados con esta vulnerabilidad. Las líneas grises y círculos corresponden a futuros que no están dentro de esta vulnerabilidad. Las líneas y puntos verdes indican factores y resultados de emisiones para el futuro de referencia. Las líneas y puntos de color rojo oscuro indican 3 futuros seleccionados para mostrar un rango de resultados de emisiones (~ 5, ~ 10 y ~ 20 MtCO₂eq).

La segunda condición de vulnerabilidad captura 42% del resto de los casos de altas emisiones no identificados por la vulnerabilidad descrita anteriormente. Esta segunda

condición de vulnerabilidad la identificamos como “Alto costo de tecnologías solares, baja descarbonización del transporte de carga y alta intensidad energética en la producción de cobre” y está definida por la combinación de los siguientes factores impulsores:

- Alto costo de tecnología solar CSP (Concentrated Solar Power, por sus siglas en inglés)
- Alta intensidad energética de la producción de cobre
- Baja electrificación minería a cielo abierto de cobre
- Baja penetración de hidrógeno en transporte de carga

La Figura RE-4 ilustra estas condiciones.

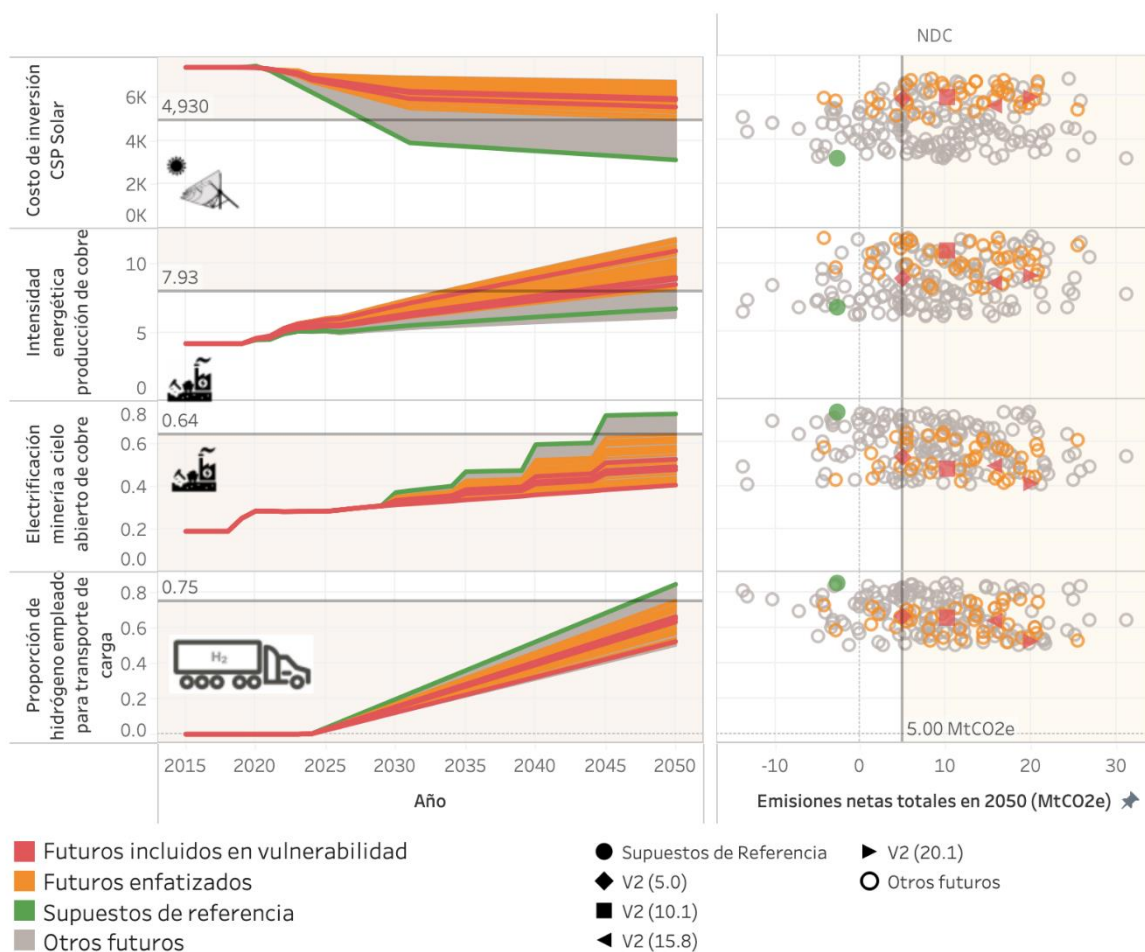


Figura RE-4 Condición de Vulnerabilidad 2.

Factores impulsores de vulnerabilidad “Alto costo de tecnologías solares, baja descarbonización del transporte de carga y alta intensidad energética en la producción de cobre” a lo largo del tiempo (izquierda) y diagrama de dispersión entre factores impulsores y emisiones netas en 2050 (derecha) para la estrategia NDC. Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las líneas y círculos naranjas corresponden a futuros asociados con esta vulnerabilidad. Las líneas grises y círculos corresponden a futuros que no están dentro de esta vulnerabilidad. Las líneas y puntos verdes indican factores y resultados de emisiones para el futuro de referencia. Las líneas y

puntos de color rojo oscuro indican 3 futuros seleccionados para mostrar un rango de resultados de emisiones (~ 5, ~ 10 y ~ 20 MtCO₂eq).

Una vez identificadas las condiciones de vulnerabilidad de la NDC, el equipo de investigación estudió diferentes propuestas de expansión de la estrategia base que puedan mitigar las vulnerabilidades identificadas. Diseñamos una estrategia NDC+ que considera todas las acciones de expansión posibles y recomendadas por los expertos consultados durante las mesas de trabajo del proyecto. La Tabla RE-1 Acciones adicionales incluidas en la estrategia NDC+. describe las acciones adicionales incluidas en esta estrategia NDC+. Este conjunto de acciones comprende expansiones en todos los sectores de la economía de Chile y representa por sí mismo un abanico diversificado que incluye medidas de mitigación de diferente naturaleza, costo y efectividad.

Tabla RE-1 Acciones adicionales incluidas en la estrategia NDC+.

| Sector | Transformación Sectorial | NDC | NDC+ |
|-----------------------------|--------------------------------------|---|---|
| <i>Generación eléctrica</i> | Retiro de centrales de carbón | Retiro de centrales de carbón al 2040 | Retiro de centrales de carbón al 2030 |
| | Retiro de centrales de gas natural | | Retiro de centrales de gas natural al 2050 |
| <i>Transporte</i> | Electromovilidad: | Vehículos particulares: 58% a 2050 Taxis: 100% a 2040 Transporte público: 100% a 2040 | Vehículos particulares: 58% a 2050 Taxis: 100% a 2040 Transporte público: 100% a 2040 |
| | Hidrógeno | 85% transporte de carga a 2050. 0% aviación a 2050 | 85% transporte de carga a 2050 10% aviación a 2050 |
| | Cambio modal a transporte público | | Cambio modal a transporte pública 10% desde transporte privado |
| | Bicicleta | | 10% desde transporte privado |
| | Teletrabajo | | 10% desde transporte privado |
| <i>Comercial</i> | Electrificación de usos finales | 70% de demanda a 2050 | 70% de demanda al 2050 |
| <i>Industria y Minería</i> | Sistemas Solares Térmicos | 33% en industrias varias 2050 16% en minería de cobre al 2050 | 46% en industrias varias al 2050 30% en minería de cobre al 2050 |
| | Hidrógeno- Usos en procesos térmicos | 3% en industrias varias 0% en industria acero | 3% en industrias varias 10% en industria acero (+ 10% biomasa) |
| | Hidrógeno – Usos motrices | 37% para minería rajo abierto al 2050 8% minera subterránea al 2050 | 37% para minería rajo abierto al 2050 8% minera subterránea al 2050 12% industrias varias al 2050 |

| Sector | Transformación Sectorial | NDC | NDC+ |
|--------------------------|---|--|--|
| | | 12% industrias varias al 2050 21% minas varias al 2050 | 21% minas varias al 2050 |
| | Electrificación de usos motrices | 88% en “Industrias varias” al 2050 74% en sector “minas varias” al 2050 | 88% en “Industrias varias” al 2050 74% en sector “minas varias” al 2050 |
| | Electrificación de usos cobre | 57% en uso final bajo cielo abierto | 57% en uso final bajo cielo abierto |
| <i>Residencial</i> | Calefacción eléctrica residencial | 72% casas al 2050 89% departamento al 2050 | 72% casas al 2050 89% departamento al 2050 |
| | Electrificación cocción | 36% casas al 2050 35% departamento al 2050 | 36% casas al 2050 35% departamento al 2050 |
| | Sistemas solares térmicos (SST) | 63% ACS en casas 57% ACS en departamentos | 80% ACS en casas 80% ACS en departamentos |
| | Reacondicionamiento térmico | 1.300.147 casas | 6.197.750 casas |
| <i>IPPU</i> | Control del consumo de HFC | Según la enmienda de Kigali | según la enmienda de Kigali |
| <i>Economía circular</i> | Biogás | Captura y combustión de biogás en rellenos sanitarios | Captura y combustión de biogás en rellenos sanitarios |
| | Tratamiento de aguas servidas | Nuevas plantas de tratamiento de aguas servidas | Nuevas plantas de tratamiento de aguas servidas |
| | Nuevas Plantas de Compostaje | | 60% de compostaje de residuos orgánicos |
| <i>Agricultura</i> | Cambio Dieta Bovina | Cambio Dieta Bovina | Cambio Dieta Bovina |
| | Biodigestores | Biodigestores | Biodigestores |
| | Uso eficiente de Fertilizantes | Uso eficiente de Fertilizantes | Uso eficiente de Fertilizantes |
| | Agricultura Regenerativa: (aplicación de enmienda orgánica) | | 10% de la superficie de cultivos anuales utilizan enmienda orgánica al 2040. |
| | Cambio de Dieta Nacional | | Reducción del consumo de carne bovina al 2050 (10%) |
| | Manejo Holístico de Ganado | | Manejo Holístico de Ganado |

| <i>Sector</i> | Transformación Sectorial | NDC | NDC+ |
|--------------------------------|--|--|--|
| <i>Bosques y biodiversidad</i> | Planes de Manejo forestal | Aumento en 200.000ha la superficie bajo Planes de Manejo al 2030 | Aumento en 350.000ha la superficie bajo Planes de Manejo al 2050 |
| | Forestación: | 200.000ha forestadas al 2030 | 500.000ha forestadas al 2050 |
| | Disminución de la Sustitución y degradación | Reducción en un 25% de la degradación forestal | Reducción en un 25% de la degradación forestal |
| | Conservación | | Aumento zonas de Parques y Reservas Protección de Bosques de Algas Pardas |
| | Cambio en la matriz de Productos de Madera Recolectada | | 10% Menos producción de papel, en favor de más madera aserrada |

Fuente: Elaboración propia.

La Figura RE-5 compara el desempeño de la estrategia NDC y la estrategia NDC+ bajo el mismo conjunto de 1,001 futuros considerados en este estudio. Es posible ver que la estrategia NDC+ cumple con el objetivo de carbono neutralidad en 2050 en un mayor número de futuros que la estrategia NDC original. De hecho, la estrategia NDC+ reduce la variación en el nivel de emisiones netas en 2050 en un rango entre -32 MtCO₂eq y +11 MtCO₂eq, y en este caso, 83% de las simulaciones resultan en futuros en donde las emisiones netas son iguales o menores a cero en 2050. Sin embargo, también es posible ver que, en un número considerable de futuros, en 2050 el nivel de abatimiento es mucho mayor que el objetivo de carbono neutralidad. Encontramos también que, en contraste con la estrategia NDC original, la estrategia NDC+ cumple en una proporción considerable de los futuros analizados con el objetivo de mitigación para 2030 planteado por el Gobierno de Chile (Sección 5.6).

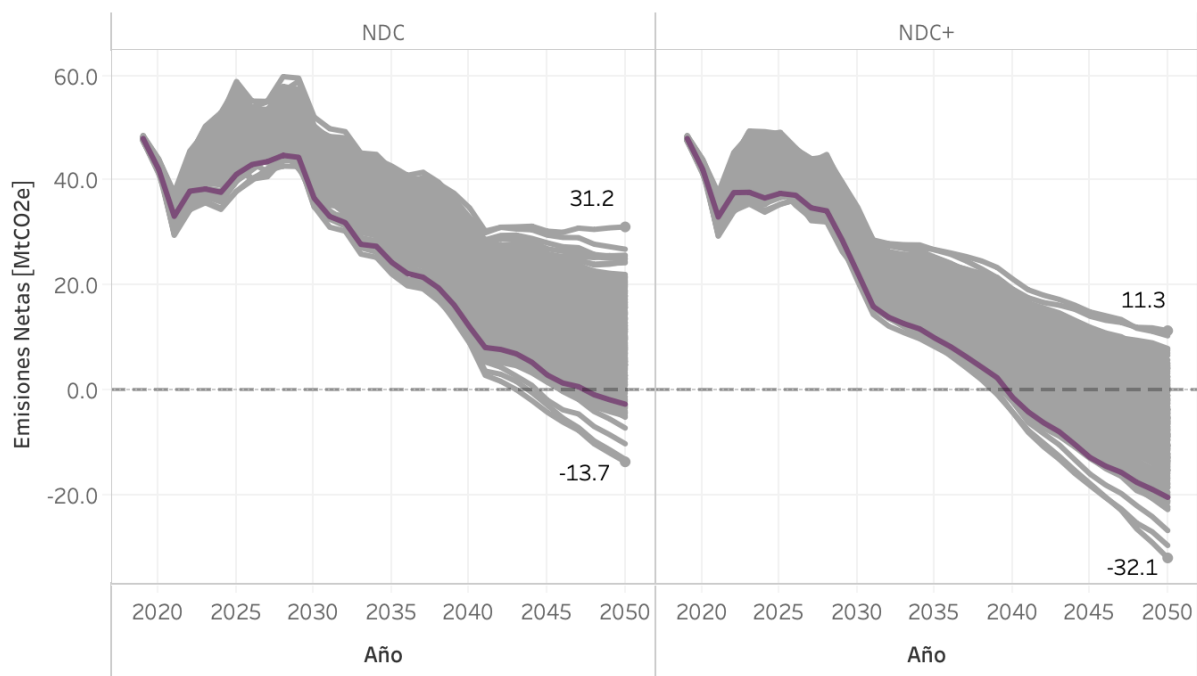


Figura RE-5 Emisiones netas totales para las estrategias NDC y NDC + bajo 1,001 futuros.

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de entender con mayor profundidad las opciones de robustecimiento de la NDC, generamos nuevas estrategias empleando diferentes combinaciones del conjunto de acciones adicionales consideradas en la NDC+. La Figura RE-6 muestra la relación costo-emisiones para el futuro de referencia de manera comparativa para todas las acciones adicionales incluidas en la estrategia NDC+. Es importante mencionar que en este análisis costo-emisiones sólo se consideran los costos de capital y costos operativos asociados a cada acción, y su impacto en la reducción de emisiones, de manera que no se incluyen en este análisis los beneficios económicos de cada una de estas acciones (e.g., menor contaminación ambiental, menor congestión en el transporte).

La Figura RE-6 muestra los costos e impacto en las emisiones de las acciones adicionales consideradas, bajo los supuestos actuales. Cuatro grupos de acciones pueden robustecer la NDC. Primero, acciones que reducen los costos y las emisiones netas en 2050, estas incluyen la sustitución del transporte privado por un mayor uso de las bicicletas, el teletrabajo y el transporte público. Segundo, acciones con costo cercano a cero, pero con un impacto marginal sustancial en la reducción de emisiones, estas incluyen el aumento de las áreas protegidas, la reducción del consumo de carne de vacuno, el reacondicionamiento térmico de las viviendas existentes y el aumento de la superficie bajo manejo forestal post 2030. Tercero, acciones con un mayor costo marginal con respecto de su capacidad de mitigación, estas incluyen la mezcla de combustibles en la aviación y cambiar el calendario de cierre de

centrales de carbón. Finalmente, el cuarto grupo incluye acciones de alto impacto de mitigación y alto costo en el que se encuentra el aumento de forestación post 2030. Varias de las opciones analizadas en la NDC+ reducen las emisiones en 2050 y, al mismo tiempo, reducen los costos de implementación. Es fundamental en las siguientes iteraciones de este trabajo analizar la factibilidad política de implementar estas medidas dado que, si su implementación es posible, deberían ser perseguidas de manera prioritaria.

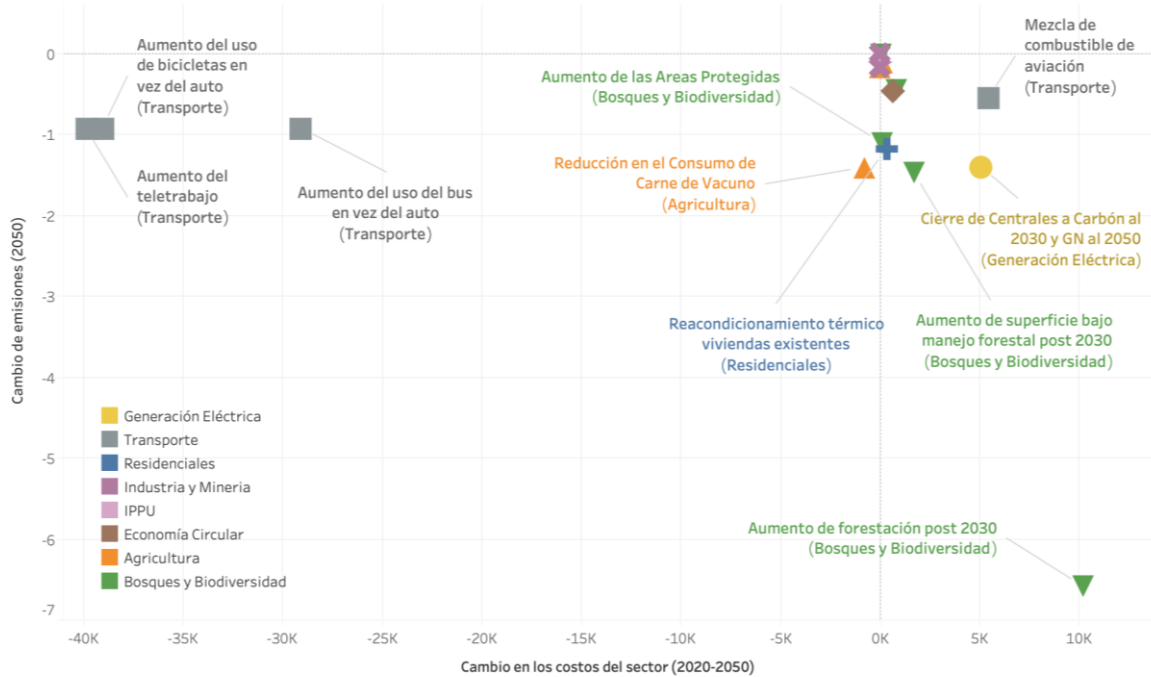


Figura RE-6 Diagrama de dispersión del cambio en las emisiones netas para 2050 por costos del sector debido a la acción individual de NDC+ para los supuestos de referencia. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de vulnerabilidad y de opciones de robustez de este estudio sugieren lo siguiente:

- La NDC puede fortalecerse de manera sustancial en el corto y largo plazo a través de la adopción de las transformaciones sectoriales indicadas en la Figura RE-6. En particular mediante el retiro acelerado de las centrales eléctricas de carbón y las acciones que no resultan en mayores costos de implementación (i.e., teletrabajo, transporte no motorizado, reducción de consumo de carne de vacuno, reacondicionamiento térmico de viviendas). Es importante hacer notar que estas acciones generan además ahorros de costo debido, en particular, a las acciones de cambio modal en el sector transporte.

- Para mejorar la capacidad de la NDC de cumplir con los objetivos de carbono neutralidad en 2050 y mitigación en 2030 en una gama más amplia de condiciones futuras, incluidas condiciones adversas tecnológicas y ambientales, se requiere la implementación de transformaciones sectoriales adicionales en el sector forestal, específicamente, aumento en la forestación y el incremento en las áreas protegidas.
- Nuestro análisis sugiere que hay una amplia gama de transformaciones sectoriales que pueden implementarse para garantizar que la NDC se mantenga en la trayectoria para lograr los objetivos de mitigación de corto y largo plazo, y que cada una de estas acciones debe ser implementada en respuesta a la presencia de vulnerabilidades específicas. En particular, el número de acciones de mitigación adicionales necesarias para robustecer la NDC actual dependerá de cómo evolucionen los costos de las tecnologías de mitigación, la intensidad energética de las actividades industriales en Chile, la capacidad de secuestro de carbono de los bosques y de cuán exitosas sean otras acciones de mitigación incluidas en la NDC.

Los resultados sectoriales muestran que al aplicar incertidumbre en un grupo reducido de medidas de mitigación del sector energía, las emisiones sectoriales podrían hasta duplicarse en caso de que no se cumplan las metas que se han supuesto en la NDC. Existe la posibilidad de generar reducciones adicionales significativas a la estrategia NDC, muchas generan beneficios netos, pero requieren inversiones, en algunos casos (Agricultura) reducciones de la productividad en el corto plazo y cambios en las prácticas, por lo que requerirán apoyos técnicos y financieros para realizar estas acciones. En el Sector de Bosques y Biodiversidad, es clave para alcanzar la Carbono Neutralidad, dado su tamaño relativo al 2050, el cual debe ser mayor o igual a todos los otros sectores juntos, esto se podría alcanzar dado a que tiene capturas netas y a que existe un alto potencial de implementar medidas adicionales a la estrategia NDC (~10 Mton CO₂eq/año al 2050), esto por medio de la extensión de las medidas de Forestación y de Manejo Forestal, pero también de nuevas acciones especialmente en lo que refiere a Soluciones Basadas en la Naturaleza, las que junto con mitigar generan múltiples co-beneficios, pero estas medidas dependen de fuertes incentivos económicos para su realización.

Un elemento importante, que no fue abordado en el presente estudio y que requiere mayor discusión, es el diseño, efectividad y tiempos de implementación asociados a las políticas públicas necesarias, para que las medidas de mitigación evaluadas sucedan a la escala requerida. Esta es una preocupación transversal en todos los sectores, pero es particularmente significativo para el Sector de Bosques y Biodiversidad, a modo de ejemplo, los Incendios Forestales aparecen como un riesgo acotado al evaluar la estrategia NDC, pese a que la última década ha sufrido un incremento en este tipo de eventos, esto se debe a

que el modelo considera la implementación de la acción “Disminución de la degradación de bosque nativo y plantaciones por incendios forestales”, la que reduce la superficie afectada por incendios, para que esto suceda es necesario tomar una serie de medidas que tienen un costo privado mayor al beneficio privado (no al social), por lo que esto se debe corregir vía regulación y/o incentivos. Por esto hay que resaltar que, si bien es posible y deseable implementar las transformaciones necesarias para alcanzar la carbono neutralidad, este trabajo no aborda las dificultades asociadas al diseño e implementación de las políticas públicas y acciones necesarias, que por cierto son muy importantes, pero que si se logran realizar de una manera adecuada generarán importantes beneficios sociales, económicos y ambientales para el país.

En cuanto a las lecciones aprendidas desde la perspectiva de impacto macroeconómico, analizando los componentes de demanda agregada y producto sectorial, se observa que en promedio existe un incremento en la tasa de crecimiento anual del PIB de 0.06 puntos porcentuales por encima de la estrategia NDC, que llevaría al nivel del PIB a ser mayor en 0.8% en promedio en 2050 con respecto a la NDC con el gasto en medidas de CAPEX y OPEX menores a la NDC en US\$1,000 y US\$7,900 millones respectivamente en promedio. Estos resultados deben interpretarse bajo la suposición de que el contexto regulatorio actual se mantiene. Finalmente, también se extrae la necesidad de introducir las medidas de mitigación con gradualidad ya que el actual ejercicio develó que existen un conjunto de combinaciones que producen significativas caídas de producto agregado y sectorial en la actividad, haciendo necesario el contemplar la introducción de medidas con gradualidad a los sectores.