



CENTRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICAS

UNIVERSIDAD DE CHILE

Dirección: Plaza Ercilla 847, Santiago

Contacto: Myriam Reyes
Email: contacto@centroenergia.cl
Fono: +56 2 9784203

Elaboración de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero para el anteproyecto de contribución determinada a nivel nacional

Resumen ejecutivo

Enero 2025

Contenido

1	Introducción	3
2	Metodología	3
2.1	Escenarios evaluados	3
2.2	Modelos de proyección	5
2.3	Supuestos de drivers	7
3	Proyección de emisiones de GEI por escenario	9
3.1	Resultados a nivel nacional	9
3.2	Medidas evaluadas	12
3.3	Resultados sectoriales	16
4	Impacto en la calidad del aire por emisiones locales	21
5	Conclusiones	25

1 Introducción

Chile deberá presentar durante el año 2025 una actualización de su compromiso internacional de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (o NDC por sus siglas en inglés) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), considerando al menos sostener el nivel de ambición presentado en su anterior NDC y establecer nuevos compromisos para un periodo de 10 años. El NDC vigente del año 2020 propuso tener un nivel de emisiones menor a 95 millón tCO_{2e} en el 2030 y que las emisiones nacionales entre 2020-2030 no superen el presupuesto de 1.100 millón tCO_{2e}. Asimismo, el NDC propuso una meta de largo plazo de manera de alcanzar la carbono neutralidad en emisiones netas a más tardar el 2050. Dicha meta de carbono neutralidad actualmente es parte de la Ley de Cambio Climático.

En este contexto, para este proceso de actualización se deberán elaborar escenarios prospectivos de emisiones de gases de efecto invernadero que se alineen con los actuales compromisos internacionales y que permitan definir la política climática en el horizonte de la actualización de la NDC. El horizonte de evaluación de la actualización del NDC considera el periodo 2025-2035, sin embargo, en este estudio se realizan proyecciones de emisiones hasta el año 2050.

Este documento corresponde al resumen de la metodología y los resultados de los escenarios de mitigación realizados en el sector energético y a nivel nacional, con el objetivo de apoyar al MMA en la elaboración de la NDC.

2 Metodología

2.1 Escenarios evaluados

La Figura 1 representa los escenarios de proyección de emisión evaluados, los cuales se describen a continuación.

Base 2020-2030: Este escenario estima y proyecta las emisiones de GEI para el periodo 2020-2030. En general, este escenario supone que las medidas de mitigación no se implementan o se implementan con un nivel menos ambicioso, por tal motivo es el escenario de mayores emisiones. Los supuestos de implementación de las medidas para este escenario se obtienen del caso base o de referencia evaluados en los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (PSM) que están elaborando los distintos ministerios.

Base PSM: Al igual que el caso anterior, este escenario estima y proyecta las emisiones de GEI para el periodo 2020-2030. Sin embargo, a diferencia del caso anterior, este escenario considera la implementación de las medidas de mitigación evaluadas en los PSM en sus niveles más ambiciosos. Para el periodo 2020-2022 se reportan las emisiones del último

INGEI y para el año 2023 se realiza una estimación considerando la mejor información disponible y proyecciones de los modelos. La descripción de las medidas evaluadas se detalla en la Sección 3 y en las fichas descritas en el Anexo 13.1.

De esta forma, la metodología es coherente con las políticas de presupuestos de mitigación abordadas en los planes sectoriales que desarrollan los ministerios. La evaluación considera las medidas de mitigación de los sectores de oferta de energía (generación eléctrica) y de los sectores demandante de energía (industria, minería, transporte, comercio, residencial y sector público). En términos generales, se representan todos los sectores evaluados en el Balance Nacional de Energía.

De acuerdo a las proyecciones realizadas en este estudio (ver Sección 5), se estima que con las medidas evaluadas en los PSM no será suficiente para cumplir con la meta del NDC actualmente. Por tal motivo, se evalúa un nuevo escenario que cumpla con las metas del NDC vigente llamado Base PSM*.

Base PSM*: Este escenario se construye a partir del escenario anterior, pero se ajustan los niveles de implementación de las medidas de mitigación de los PSM o se agregan nuevas medidas de mitigación, de tal forma de cumplir con las metas del NDC actualmente vigente.

Base 2030-2050: Este escenario proyecta las emisiones para el periodo 2030-2050. Este escenario mantiene el sufijo “Base” ya que a partir del año 2030 no plantea esfuerzos por sobre los propios “espontáneos” del mercado (Por ejemplo, trayectoria natural de ingreso de vehículos eléctricos, o electrificación de calefacción u otros artefactos). Viene a ser un escenario de referencia para la evaluación de los escenarios de carbono neutralidad a partir de 2030. Este escenario supone que, si en el futuro se realizase una proyección a partir del año 2030, el nivel de emisiones del año 2030 será el que se obtienen del escenario Base PSM*, es decir, aquel escenario que cumple con las metas del NDC vigente a la fecha.

Carbono neutralidad 1 (CN1): Este escenario proyecta las emisiones para el periodo 2030-2050. Este escenario cumple con la meta de carbono neutralidad 2050. Las trayectorias o niveles de implementación de las medidas se construyen en base a la información entregada por los PSM posterior al 2030, con documentación de otras estrategias, comisiones y otras fuentes de información relevantes. Además, se considerará la información de los talleres y otros procesos de participación. A partir de eso y la información de emisiones y absorciones de los otros sectores se construirán las trayectorias de las medidas que permitan al escenario cumplir con la meta de carbono neutralidad.

Carbono neutralidad 2 (CN2): Este escenario proyecta las emisiones para el periodo 2030-2050. Este escenario también cumple con la meta de carbono neutralidad al 2050. Este escenario agrega transiciones más agresivas en medidas, tecnologías o usos particulares, por tanto, se alcanza a un nivel de emisiones más bajo que el escenario CN1. Por ejemplo,

se analizará las metas y restricciones propuestas en el reporte Global Stocktake. Estos ajustes se evaluarán con la contraparte.

Los tres escenarios Base 2030-2050, CN1 y CN2, parten del mismo nivel de emisiones que alcanza el escenario PSM* en el año 2030.

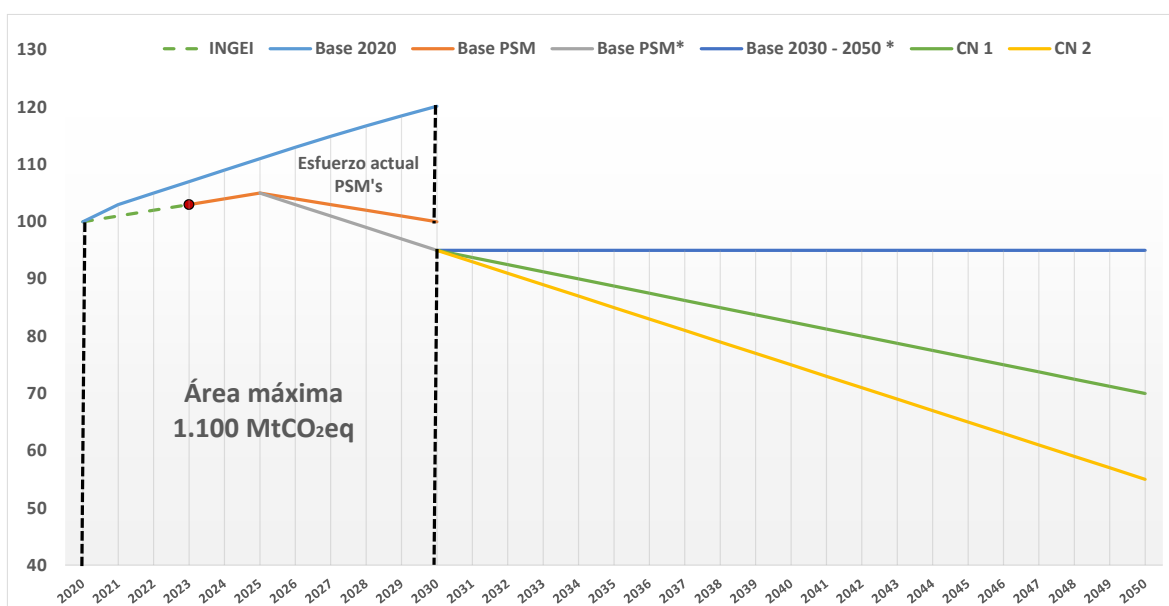


Figura 1: Escenarios de proyección de emisión de emisiones

2.2 Modelos de proyección

La proyección de los escenarios mitigación del sector energía serán realizadas con el modelo PMR¹. Este modelo es una herramienta de simulación y análisis para evaluar el impacto de distintos escenarios de mitigación de cambio climático desarrollado por el Centro de Energía de la Universidad de Chile. Algunas características del modelo se describen a continuación:

- Modelo matemático basado en enfoque de optimización, tanto por el lado de la oferta como la demanda de energía.

¹ <https://modelopmr.cl/#/acercade>

- Modelo integrado de oferta y demanda. Se proyecta en forma integrada tanto la oferta como la demanda energía, considerando la integración de ambos sectores.
- Proyección de la demanda de energía para los sectores transporte, industria y minería, comercial, público y residencial. Se representan todos los sectores del Balance de Energía.
- Proyección de oferta de energía considerando distintas fuentes y tecnologías: centrales solares fotovoltaicas, CSP, eólica, sistemas de almacenamiento, hidroelectricidad, geotermia, carbón, gas natural, etc. El modelo representa todas las centrales en operación y nuevas centrales.
- Representación de restricciones de corto plazo del sector generación eléctrica, tales como mínimo técnicos y requerimientos de inercia sistémica.
- El modelo permite evaluar en forma simultánea las medidas que afectan al sector generación eléctrica y a los sectores CPR, industria y minería y sector transporte.
- Se realizan proyecciones de todos los energéticos primarios y secundarios representados en el Balance Nacional de Energía: diésel, gasolina, kerosene, gas natural, gas licuado, carbón, electricidad, hidrógeno, etc. A partir de estas proyecciones y el uso de los factores de emisión se estiman las emisiones de GEI.
- Proyección de emisiones basada en las metodologías del INGEI. Se utilizarán los factores de emisión y PCG del último INGEI del periodo 1990-2022.
- Los parámetros del modelo son ajustados (“calibración”) considerando la información disponible del último Balance Nacional de Energía (año 2022), la última información del INGEI y otras fuentes de información disponibles hasta el año 2023.

Las principales salidas del modelo son:

- Proyección de oferta de generación eléctrica por central y tipo de tecnología.
- Proyección de demanda de energía para todos los sectores del Balance Nacional de Energía.
- Proyección de demanda de demanda eléctrica.
- Proyección de capacidad instalada.
- Proyección de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) desagregada por tipo de gas y CO₂ equivalente.
- Proyección de costos de inversión, operación y mantenimiento.

2.3 Supuestos de drivers

La siguiente figura muestra la tasa de crecimiento de PIB, producciones industriales, población y número de viviendas que fueron consideradas en los modelos de proyección.

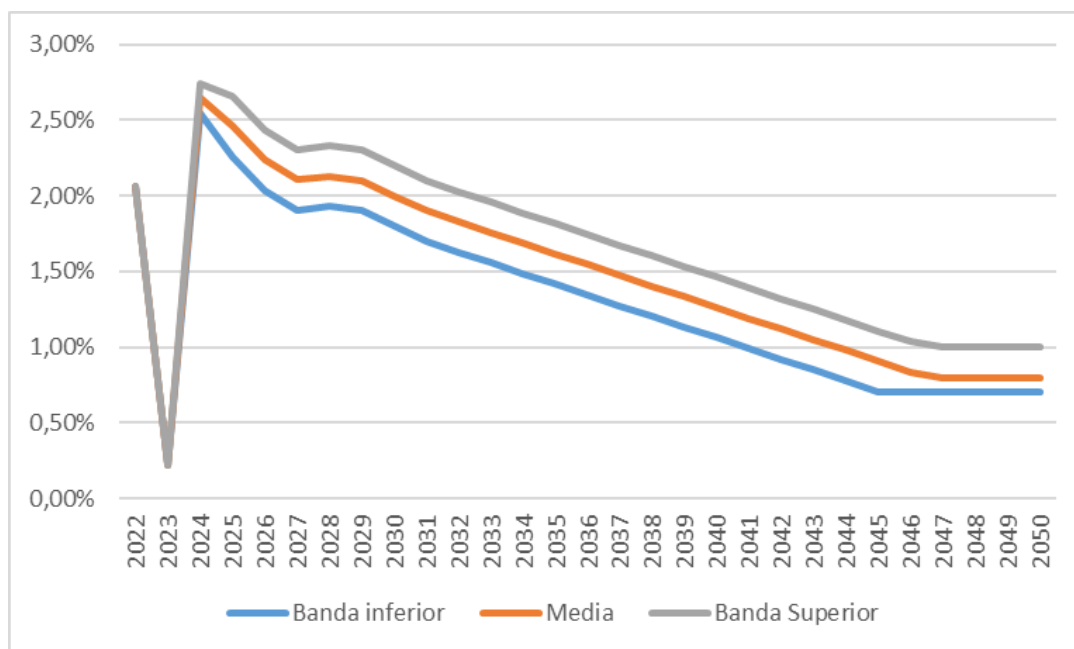


Figura 2: Proyección del PIB. Fuente: Ministerio de Hacienda y Ministerio del Medio Ambiente.

La siguiente figura muestra las proyecciones de las producciones industriales utilizadas para realizar la estimación de emisiones presentadas en la sección 5.2 y 5.3.

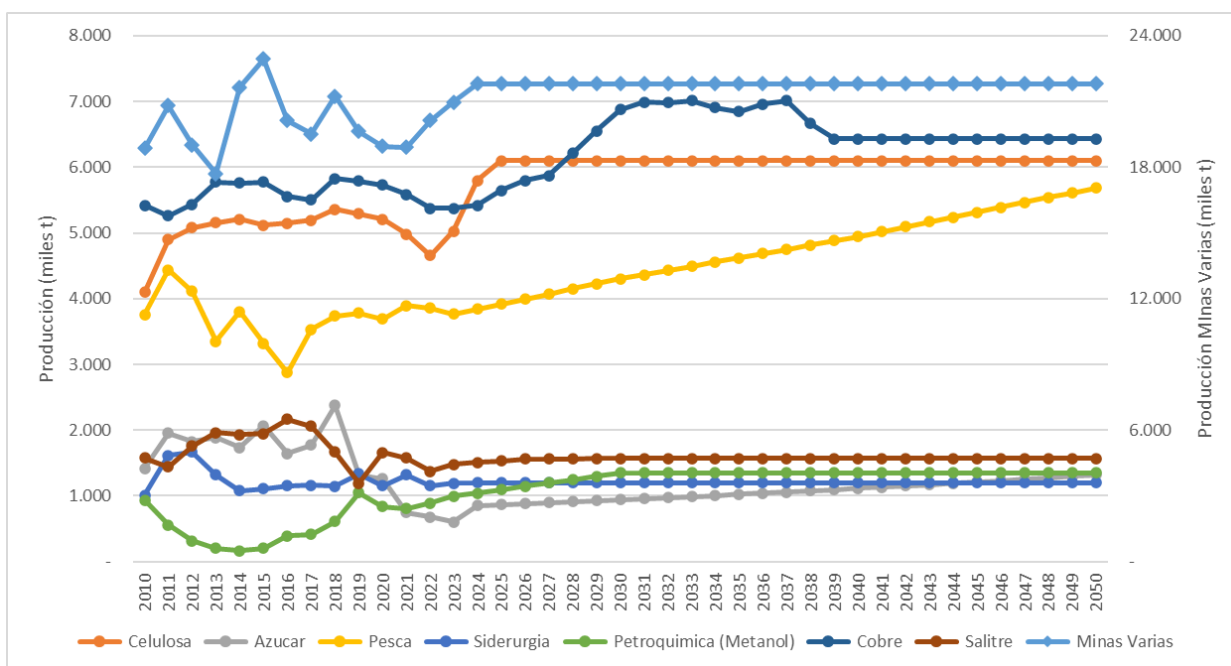


Figura 3: Trayectoria proyección de producciones de principales sectores de industria y minería (2010 - 2050). Fuente: Elaboración propia a partir de distintas fuentes descritas en Sección 2.5.

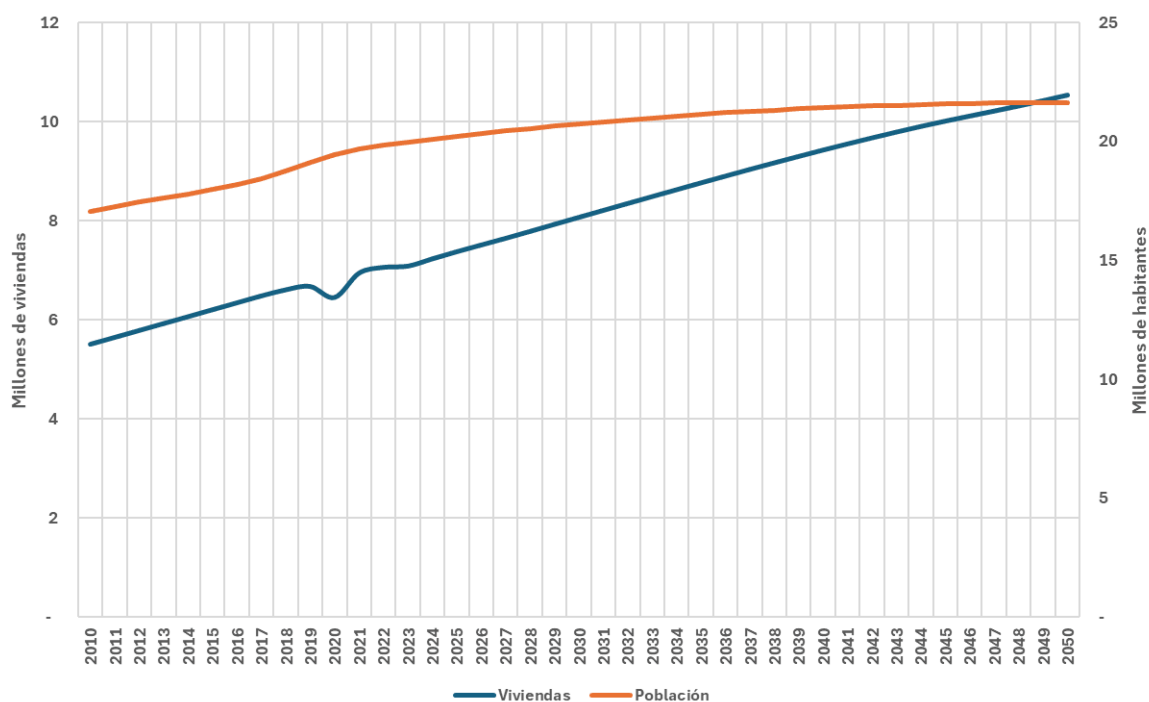


Figura 4: Proyección del número de viviendas a nivel nacional.

3 Proyección de emisiones de GEI por escenario

3.1 Resultados a nivel nacional

La siguiente figura muestra los resultados de proyección de emisiones de GEI para los distintos escenarios evaluados. La línea punteada representa los datos del INGEI para el periodo 2020-2022. Para el periodo 2020-2030, la línea negra representa la proyección de emisiones del escenario **Base 2020-2030**, la línea naranja representa la proyección del escenario **Base PSM** y la línea azul representa el escenario **Base PSM***. Para el periodo 2030-2050, la línea azul representa la proyección del escenario **Base 2030-2050**, la línea verde representa la proyección del escenario **CN1** y la línea roja representa el escenario **CN2**. La línea negra representa el límite de emisiones de 95 millones establecido como meta al año 2030 del NDC actualmente vigente.

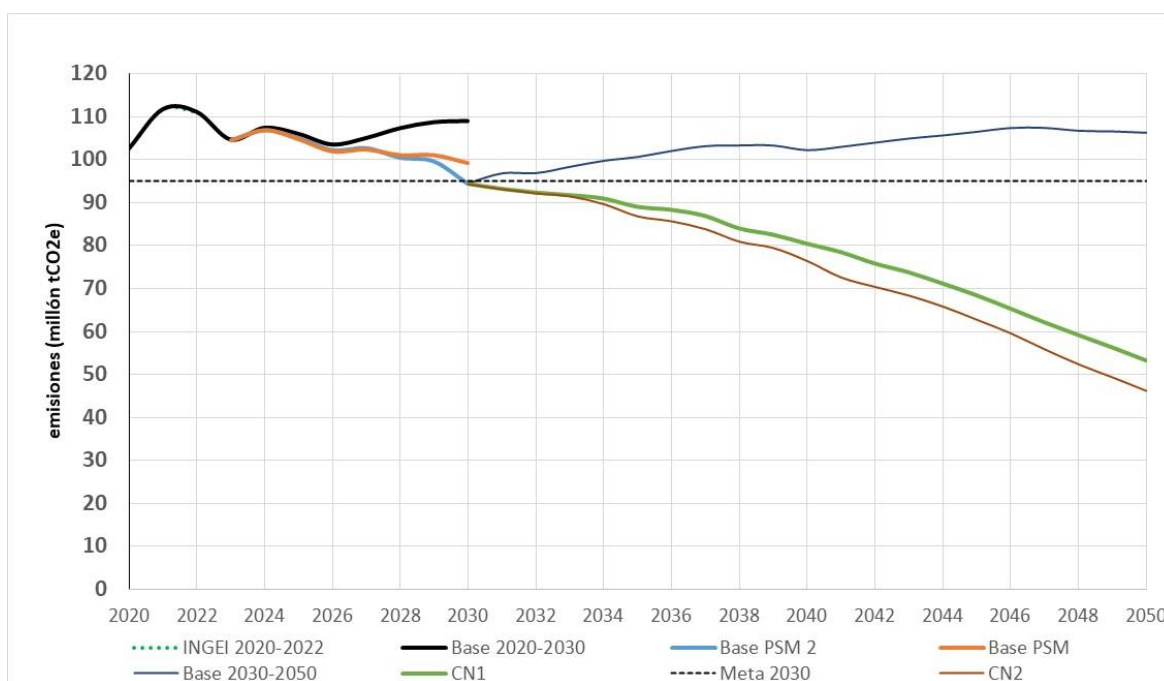


Figura 5: Proyección de emisiones a nivel nacional para los escenarios Base 2020-2030, PSM, PSM*, Base 2030-2050 y CN1.

A partir de los resultados de las simulaciones se estima que el escenario Base PSM no lograría cumplir con las metas de tener un nivel de emisiones menor a 95 millón tCO_{2e} en el 2030 y ni se cumpliría el presupuesto de emisiones. Es importante recordar que la proyección de emisiones de este escenario incluye las medidas de mitigación evaluadas en los planes sectoriales. Los niveles de implementación de estas medidas se describen en las fichas del Anexo Sección 14.1 del informe completo.

Para efectos de cumplir con las metas del NDC vigente, se evalúan nuevas medidas de mitigación adicionales a las incluidas en los planes sectoriales y se aumentan los niveles de

implementación de algunas de las medidas. Como resultado de lo anterior, se proyectan el escenario Base PSM*, el cual lograría cumplir parcialmente con las metas del NDC vigente. La siguiente tabla resume los resultados para estos 3 escenarios. El escenario PSM* alcanzaría un nivel de emisiones menor a 94,3 millón tCO_{2e} en el año 2030, pero el presupuesto de emisiones se supera en un 3,4%.

Tabla 1: Evaluación de escenarios para el periodo 2020-2030.

Escenario	Emisiones en 2030 (millón tCO _{2e})	Presupuesto emisiones 2020-2030 (millón tCO _{2e})
Base 2020-2030	109,0	1177,1
Base PSM	99,2	1143,2
Base PSM*	94,3	1137,2

A partir del nivel de emisiones alcanzado por el escenario Base PSM* en el año 2030, se proyectan las emisiones para los escenarios CN1 y CN2. Para el escenario CN2 se aumentan los niveles de ambición de algunas de las medidas evaluadas en el escenario CN1. Para el año 2035 se proyecta un nivel de emisiones de 86,7 y 89,0 millón tCO_{2e} para los escenarios CN2 y CN1, respectivamente. En el largo plazo ambos escenarios logran la meta de carbono neutralidad (en emisiones netas), alcanzando un nivel de emisiones inferior a 52,3 millones de tCO_{2e} en el año 2050.

Tabla 2: Evaluación de escenarios para el periodo 2030-2050 para los escenarios CN1 y CN2.

Escenario	Emisiones en 2035 (millón tCO _{2e})	Emisiones en 2050 (millón tCO _{2e})
CN1	88,1	54,1
CN2	85,7	46,9

La siguiente tabla muestra el detalle de las proyecciones sectoriales de los sectores para el periodo 2020-2030 (escenario PSM*) y el periodo 2030-2050 (Escenario CN1). Los datos de las proyecciones de los sectores no energéticos fueron entregados por el MMA.

Tabla 3: Proyección de emisiones en millón tCO_{2e} por sector para periodo 2020-2030 (escenario PSM*) y periodo 2030-2050 (Escenario CN1)

Año	comercial	industria	minería	público	residencial	transporte	generación	otras ind. energía	otros sectores energía	otros no energía	Total
2017	2.2	7.8	7.4	0.3	4.8	26.8	30.1	1.5	1.5	25.5	107.8
2018	2.2	7.6	7.7	0.2	4.9	28.0	28.6	2.2	1.6	26.2	109.2
2019	2.0	7.7	7.5	0.3	4.9	28.6	28.9	2.4	1.5	27.3	111.0
2020	1.5	7.5	7.7	0.3	5.1	25.4	27.3	2.5	1.6	23.8	102.6
2021	1.9	7.6	7.9	0.3	5.3	27.8	29.8	2.7	1.6	24.8	109.5
2022	1.9	7.9	8.5	0.3	5.4	30.0	26.3	2.7	1.6	25.3	109.8
2023	1.9	8.3	8.5	0.2	5.3	29.8	20.4	2.7	1.6	25.6	104.4
2024	2.0	9.1	8.8	0.2	5.5	32.6	18.2	2.7	1.6	26.1	106.8
2025	2.1	9.3	9.3	0.2	5.5	33.4	13.8	2.7	1.6	26.9	105.0
2026	2.1	9.3	9.4	0.2	5.6	34.1	9.6	2.7	1.6	27.4	102.2
2027	2.2	9.4	9.3	0.2	5.6	34.7	9.4	2.7	1.6	27.5	102.6
2028	2.3	9.4	9.2	0.2	5.6	35.1	9.3	2.7	1.6	25.1	100.4
2029	2.3	9.1	9.0	0.2	5.6	35.0	8.8	2.7	1.6	25.1	99.5
2030	2.4	8.1	8.6	0.2	5.6	34.8	5.1	2.7	1.6	25.2	94.3
2031	2.4	8.1	8.0	0.2	5.5	34.4	4.9	2.7	1.6	25.2	93.1
2032	2.5	8.1	7.6	0.2	5.5	33.9	4.8	2.7	1.6	25.2	92.3
2033	2.5	8.1	7.6	0.2	5.5	33.7	4.8	2.7	1.6	25.0	91.7
2034	2.6	8.0	7.1	0.2	5.4	33.1	4.8	2.7	1.6	25.3	90.9
2035	2.6	7.9	7.0	0.2	5.3	32.7	4.4	2.7	1.6	24.4	89.0
2036	2.6	7.9	6.5	0.2	5.3	32.1	4.4	2.7	1.6	24.9	88.3
2037	2.7	7.8	6.3	0.2	5.2	31.6	3.9	2.7	1.6	24.9	86.8
2038	2.7	7.7	5.9	0.2	5.1	31.1	3.3	2.7	1.6	23.6	83.9
2039	2.7	7.6	5.6	0.2	5.0	30.6	2.9	2.7	1.6	23.6	82.5
2040	2.7	7.6	5.0	0.2	4.8	29.8	2.2	2.7	1.6	23.8	80.4
2041	2.7	7.5	4.6	0.2	4.7	29.1	1.7	2.7	1.6	23.6	78.4
2042	2.7	7.4	4.3	0.2	4.5	28.0	1.1	2.7	1.6	23.1	75.8
2043	2.7	7.3	4.0	0.2	4.3	26.8	0.9	2.7	1.6	23.0	73.8
2044	2.7	7.2	3.7	0.2	4.1	25.5	0.7	2.7	1.6	22.6	71.2
2045	2.7	7.1	3.5	0.2	3.9	24.3	0.4	2.7	1.6	22.0	68.4
2046	2.7	6.9	3.2	0.2	3.6	22.9	0.4	2.7	1.6	21.1	65.3
2047	2.7	6.8	3.0	0.2	3.3	21.3	0.3	2.7	1.6	20.3	62.2
2048	2.7	6.6	2.7	0.2	2.9	19.8	0.1	2.7	1.6	19.8	59.2
2049	2.6	6.4	2.4	0.2	2.6	18.2	0.1	2.7	1.6	19.4	56.3
2050	2.6	5.9	2.1	0.2	2.2	16.7	0.0	2.7	1.6	19.2	53.3

3.2 Medidas evaluadas

En la siguiente tabla se resume la lista de medidas de mitigación evaluadas y los supuestos de implementación en los años 2030, 2035 y 2050. En el año 2030 se reporta el nivel de implementación del escenario PSM y del PSM* si el nivel es distinto al PSM. Para los años 2035 y 2050 se reporta el nivel de implementación del escenario CN1 y el CN2 si fuera distinto al CN1. Los supuestos de implementación explican las reducciones de emisiones asociadas a cada medida.

Tabla 4: Supuestos de implementación de las medidas de mitigación.

Sector	Medidas	Implementación 2030	Implementación 2035	Implementación 2050
Transporte	Electromovilidad – vehículos livianos (estándar y prohibición de ventas)	El 11,4% del parque de vehículos livianos es eléctrico y 0,2% es híbrido.	El 29,8% del parque de vehículos livianos es eléctrico y el 1,3% es híbrido	El 81,2% del parque de vehículos livianos es eléctrico.
	Electromovilidad – vehículos livianos (transformación de vehículos a combustión a EV)	El 8% del parque de vehículos livianos es eléctrico reconvertido.	El 13,5% del parque de vehículos livianos es eléctrico reconvertido.	El 0% del parque es eléctrico reconvertido, ya que finaliza la vida útil extendida de los vehículos reconvertidos al último año del programa (2034).
	Electromovilidad – vehículos medianos	El 5% del parque de vehículos medianos es eléctrico y 0,8% es híbrido.	El 22% del parque de vehículos medianos es eléctrico y el 1% es híbrido.	El 86% del parque de vehículos medianos es eléctrico.
	Buses eléctricos RM	El 50% del parque de buses RED y el 20% de buses urbanos distintos al sistema RED es eléctrico.	El 100% del parque de buses RED y de buses urbanos distintos al sistema RED es eléctrico.	El 100% del parque de buses RED y de buses urbanos distintos al sistema RED es eléctrico.
	Buses eléctricos regiones	El 5,1% del parque de buses urbanos es eléctrico.	El 50% del parque de buses urbanos es eléctrico.	El 100% del parque de buses es eléctrico (al año 2040).
	Taxis eléctricos	El 25% del parque de taxis es eléctrico.	El 67% del parque de taxis es eléctrico.	El 100% del parque de taxis es eléctrico (al año 2040).
	Electromovilidad – camiones livianos y medianos	El 20% del parque de camiones livianos y medianos es eléctrico.	El 25% del parque de camiones livianos y medianos es eléctrico.	El 50% del parque de camiones livianos y medianos es eléctrico.
	Estándar de rendimiento en vehículos pesados	No hay implementación de la medida.	El 0,1% de camiones y tractocamiones es a hidrógeno o usa tecnología cero emisiones.	El 44,2% de camiones y tractocamiones es a hidrógeno o usa tecnología cero emisiones.

Sector	Medidas	Implementación 2030	Implementación 2035	Implementación 2050
	Diésel renovable en transporte de larga distancia	Participación del 0,4% de diésel renovable en el consumo de tractocamiones.	Participación del 1% de diésel renovable en el consumo de tractocamiones.	Participación del 10% de diésel renovable en el consumo de tractocamiones
	Cambio modal a bicicleta	Disminución del 1,4% de la demanda en km de vehículos livianos y medianos, y de 3,8% en la demanda de buses urbanos.	Disminución del 2% de la demanda en km de vehículos livianos y medianos, y de 5,4% en la demanda de buses urbanos.	Disminución del 4,5% de la demanda en km de vehículos livianos y medianos, y de 12% en la demanda de buses urbanos.
	Cambio modal a metro	Disminución de 135 millones de km anuales de la demanda de vehículos livianos.		
	Cambio modal a trenes	Disminución de 35 millones de km anuales de la demanda de vehículos livianos.		
	Uso de SAF en transporte aéreo	1% de participación de SAF en el consumo de transporte aéreo.	8,3% de participación de SAF tipo HEFA en el consumo de transporte aéreo. Se suma un 1,3% de combustible sintético producido en Chile.	30% de participación de SAF tipo HEFA en el consumo de transporte aéreo. Adicionalmente, se tiene un 20% de participación de combustible sintético producido en Chile.
	Uso de combustibles cero emisiones en transporte marítimo	No hay implementación de la medida.		Solo en escenario carbono neutralidad 2, se tiene un 30% de participación de combustibles cero emisiones en el consumo del transporte marítimo.
Residencial	Fomento al uso de energía solar para agua caliente sanitaria (ACS)	PSM*: Se instalan 84.000 SST en periodo 2025-2030. PSM*: Se instalan 105.000 SST en periodo 2025-2030.	Se instalan 184.000 SST en periodo 2025-2035. (20.000 STT/año)	Se instalan 800.000 SST en periodo 2025-2050. (aumenta a 50.000 STT/año)
	Electrificación de fuentes energéticas para usos residenciales - calefacción eléctrica	PSM: Aumento de 0,3% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022. 16.000 viviendas adicionales utilizan calefacción eléctrica. PSM*: Aumento de 11% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (22% total aprox). 640.000 viviendas adicionales utilizan calefacción eléctrica.	Aumento de 25% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (36% total aprox). 1.580.000 viviendas adicionales utilizan calefacción eléctrica (2.200.000 en total).	Aumento de 68% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (79% total aprox). 5.000.000 viviendas adicionales utilizan calefacción eléctrica (5.620.000 en total).
	Electrificación de fuentes energéticas para	PSM: Aumento de 6,8% en la participación con respecto a	Aumento de 14% en la participación con respecto a	Aumento de 54% en la participación con

Sector	Medidas	Implementación 2030	Implementación 2035	Implementación 2050
	usos residenciales - cocción eléctrica	participación de tecnología en 2022 (10,5% en total). 420.000 viviendas adicionales utilizan cocción eléctrica. PSM*: Aumento de 8% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (13% en total). 522.000 viviendas adicionales utilizan cocción eléctrica	participación de tecnología en 2022 (19% en total). 1.200.000 viviendas adicionales utilizan cocción eléctrica. (1.520.000 hogares en total)	respecto a participación de tecnología en 2022 (59% en total). 5.347.000 viviendas adicionales utilizan cocción eléctrica. (5.667.000 hogares en total)
	Electrificación de fuentes energéticas para usos residenciales - Electrificación de ACS	PSM: No hay aumento de la penetración de la tecnología en 2030 (6% aprox).	Aumento de 1% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (7% en total). 42.000 viviendas adicionales utilizan ACS eléctrica. (442.000 hogares en total)	Aumento de 56% en la participación con respecto a participación de tecnología en 2022 (62% en total). 5.200.000 viviendas adicionales utilizan ACS eléctrica. (5.600.000 hogares en total)
	Energía distrital	PSM: 10.000 hogares conectados a red de calefacción distrital	60.000 hogares conectados a red de calefacción distrital	210.000 hogares conectados a red de calefacción distrital
	Implementación de la actualización de la reglamentación térmica	680.000 viviendas construidas con la nueva RT vigente desde el año 2025 (8% del total).	1.363.000 viviendas construidas con la nueva RT vigente desde el año 2025 (16% del total).	1.363.000 viviendas construidas con la nueva RT vigente desde el año 2025 (13% del total) y 1.595.000 viviendas construidas con la futura RT (15% del total)
	Reacondicionamiento térmico de viviendas vulnerables	180.000 viviendas reacondicionadas en periodo 2025-2030	190.000 viviendas reacondicionadas en periodo 2031-2035.	680.000 viviendas reacondicionadas en periodo 2035-2050.
Comercial	Fomento a la calefacción eléctrica en el sector comercial.	PSM: Medida no considerada. PSM*: Aumenta la penetración de usos motrices eléctricos en el sector en 11% para 2030.	Aumenta la penetración de usos motrices eléctricos en el sector en 22,5% para 2035.	Aumenta la penetración de usos motrices eléctricos en el sector en 56% para 2050.
	Fomento a la energía eléctrica en usos motrices en el sector comercial.	PSM: Medida no considerada. PSM*: Aumenta la penetración de calefacción	Aumenta la penetración de calefacción eléctrica en el sector en 28% para 2030 con respecto a penetración actual.	Aumenta la penetración de calefacción eléctrica en el sector en 76% para

Sector	Medidas	Implementación 2030	Implementación 2035	Implementación 2050
		eléctrica en el sector en 13% para 2030 con respecto a penetración actual.		2030 con respecto a penetración actual.
Industria	Electrificación de usos térmicos.			
	ERNC en usos térmicos.	Participación de 5,3% de SST o similar en usos térmicos.	Participación de 7,3% de SST o similar en usos térmicos.	Participación de 13,1% de SST o similar en usos térmicos.
	Hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 2% de hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 3% de hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 9,4% de hidrógeno en usos térmicos.
	Electrificación de usos motrices.	Se tiene el reemplazo de 6,4% de combustibles fósiles por electricidad.	Se tiene el reemplazo de 10,7% de combustibles fósiles por electricidad.	Se tiene el reemplazo de 21,5% de combustibles fósiles por electricidad.
	Hidrógeno en usos motrices.	No hay implementación de la medida.	Se tiene el reemplazo de 0,1% de combustibles fósiles por hidrógeno.	Se tiene el reemplazo de 6,9% de combustibles fósiles por hidrógeno.
Minería	Camiones CAEX sustentables – minería del cobre	PSM: 5% (vehículos eléctricos) aprox. de camiones sustentables en 2030. Equivalente a una reducción de emisiones del 5% con respecto al base. PSM*: 30% (vehículos híbridos) aprox. de camiones sustentables en 2030. Equivalente a una reducción de emisiones del 9% con respecto al base.	17% de reducción de emisiones en uso de CAEX con respecto a línea base: Modelado como 40% de CAEX híbrido y 5% de CAEX eléctrico.	90% de reducción de emisiones en uso de CAEX con respecto a línea base: Modelado como 90% de CAEX eléctrico. CAEX 100% sustentable en 2050, sumando el uso de diésel renovable
	Reemplazo de diésel convencional por diésel renovable en camiones CAEX – minería del cobre	PSM y PSM*: 5% de uso de diésel renovable	10% de uso de diésel renovable	10% de uso de diésel renovable
	Electrificación de usos térmicos.	Incremento del 11,2% de la participación de electricidad en usos térmicos.	Incremento del 14,2% de la participación de electricidad en usos térmicos.	Incremento del 27,6% de la participación de electricidad en usos térmicos.
	ERNC en usos térmicos.	Participación de 5,3% de SST o similar en usos térmicos.	Participación de 7,3% de SST o similar en usos térmicos.	Participación de 13,1% de SST o similar en usos térmicos.
	Hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 2% de hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 3% de hidrógeno en usos térmicos.	Participación de 9,4% de hidrógeno en usos térmicos.

Sector	Medidas	Implementación 2030	Implementación 2035	Implementación 2050
	Electrificación de usos motrices.	Se tiene el reemplazo de 16,9% de combustibles fósiles por electricidad.	Se tiene el reemplazo de 22,3% de combustibles fósiles por electricidad.	Se tiene el reemplazo de 43% de combustibles fósiles por electricidad.
	Hidrógeno en usos motrices.	No hay implementación de la medida.	Se tiene el reemplazo de 0,1% de combustibles fósiles por hidrógeno.	Se tiene el reemplazo de 28,4% de combustibles fósiles por hidrógeno.
Generación eléctrica	Descarbonización de la matriz de generación	PSM: 82% de participación energías renovables. PSM*: 86% de participación energías renovables.	CN1: 90% de participación energías renovables. CN2: 92% de participación energías renovables.	100% participación energías renovables

3.3 Resultados sectoriales

El sector transporte es actualmente la principal fuente de emisiones de GEI del país y en el mediano y largo plazo que esta participación se mantenga. La siguiente figura muestra las emisiones históricas y la proyección de emisiones para los distintos escenarios evaluados. Entre 2010 y 2022 las emisiones aumentaron en 10 millones tCO_{2e} aproximadamente. Esta tendencia al alza se mantendría, en efecto, el escenario Base 2020-2030 proyecta que las emisiones podrían llegar a 39,4 millones tCO_{2e} en el año 2030, las cuales se reducirían a 35,5 millones tCO_{2e} en el escenario Base PSM producto de las medidas de mitigación incluidas en los Planes Sectoriales y a 34,8 en el escenario PSM* debido a los esfuerzos de mitigación adicionales. Hacia el año 2035 se proyecta un nivel de emisiones entre 32,0 y 32,7 millones tCO_{2e} para los escenarios CN2 y CN1, respectivamente.

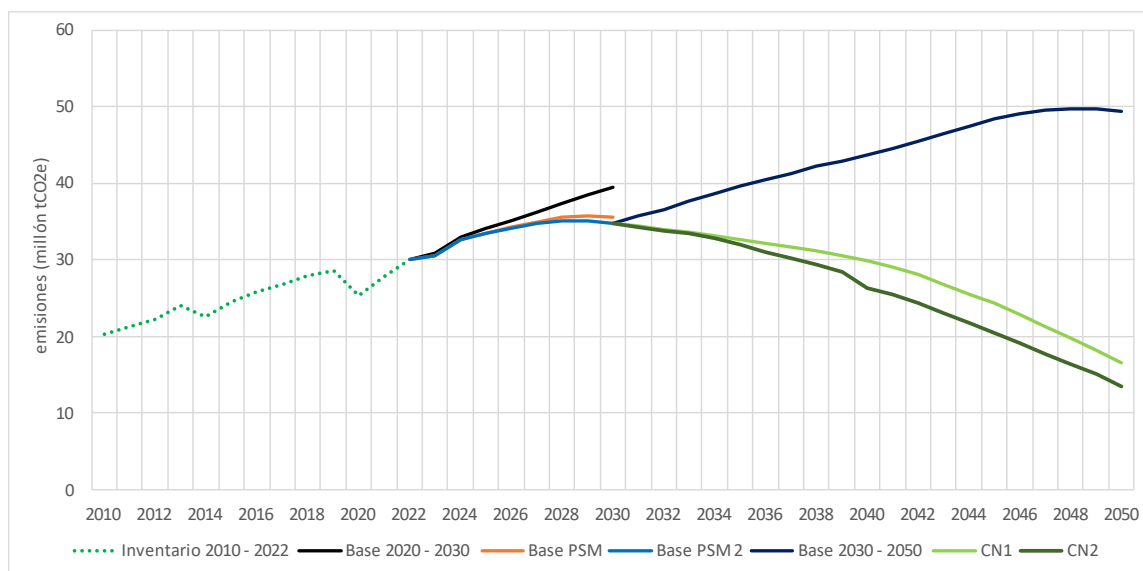


Figura 6: Proyección de emisiones sector transporte, periodo 2010 - 2050.

A diferencia de lo que ocurre con el sector transporte, las emisiones del sector industrial (sin incluir la minería) se han mantenido relativamente estables entre 2010 y 2022, lo cual se explica principalmente porque la producción industrial no ha crecido significativamente en los últimos años. El escenario Base 2020-2030 proyecta que las emisiones podrían llegar a 10,4 millones tCO_{2e} en el año 2030, las cuales se reducirían a 8,1 millones tCO_{2e} en el escenario Base PSM producto de las medidas de mitigación incluidas en los Planes Sectoriales. Hacia el año 2035 se proyecta un nivel de emisiones de 7,9 millones tCO_{2e} para los escenarios CN1 y CN2.

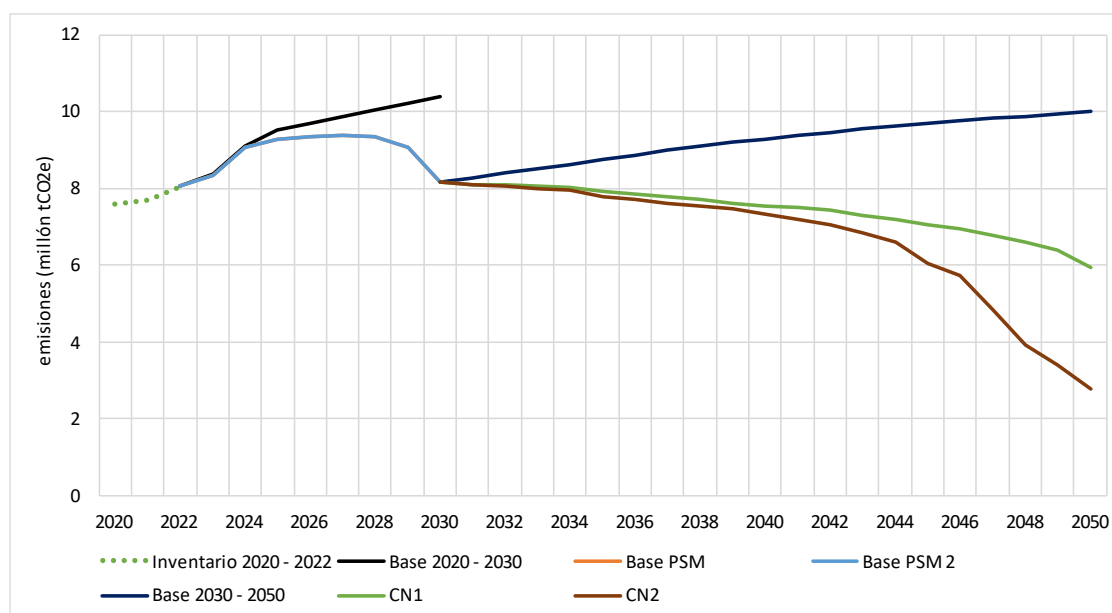


Figura 7: Proyección de emisiones sector industrias, periodo 2010 - 2050.

La siguiente figura muestra las emisiones históricas y la proyección de emisiones del sector minería, la cual incluye los subsectores cobre, minas varias y hierro. Hacia el año 2030 se espera que estas emisiones continúen creciendo debido principalmente al aumento de la producción de cobre y la disminución de la ley de los minerales. El escenario Base 2020-2030 proyecta que las emisiones podrían llegar a 9,9 millones tCO_{2e} en el año 2030, las cuales se reducirían a 8,9 millones tCO_{2e} en el escenario Base PSM producto de las medidas de mitigación incluidas en los Planes Sectoriales y a 8,6 en el escenario PSM* debido a los esfuerzos de mitigación adicionales, lo cual equivale a una reducción de 11,5% con respecto al escenario Base 2020-2030. En el largo plazo se espera que las emisiones directas de la minería del cobre se reduzcan significativamente debido principalmente por el reemplazo de camiones CAEX a diésel por tecnologías más sustentables. Hacia el año 2035 se proyecta un nivel de emisiones de 7,5 millones tCO_{2e} para los escenarios CN1 y CN2, lo cual representa una reducción de aproximadamente 24% con respecto al nivel del escenario Base 2020-2030 en el año 2030.

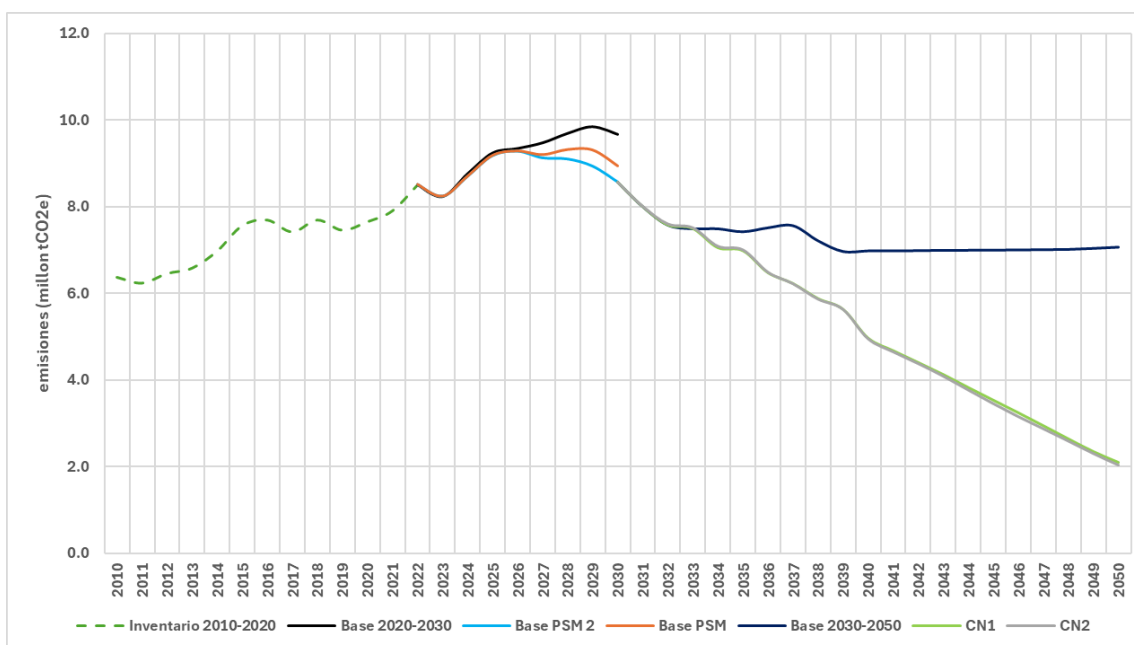


Figura 8: Proyección de emisiones del sector minero.

La siguiente figura muestra las emisiones del sector residencial. Se estima una disminución de 4,6 millones de tCO_{2e} en el año 2050 con respecto al escenario Base 2030-2050. La reducción de emisiones está asociada principalmente a la electrificación de los usos finales, los cual tiene un impacto significativo en el muy largo plazo, pero un efecto limitado en el corto y mediano.

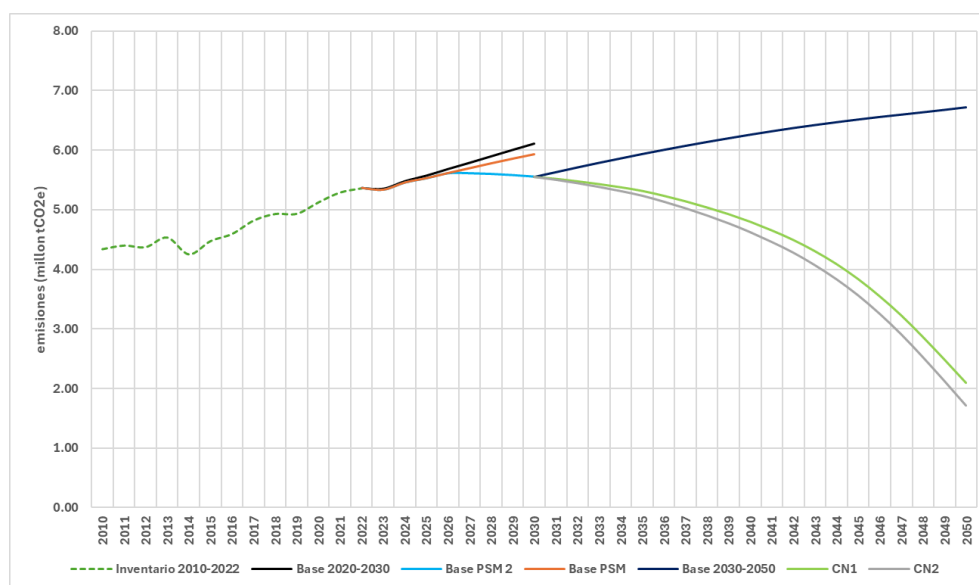


Figura 9: Proyección de emisiones del sector residencial.

Las emisiones del sector generación eléctrica ha disminuido en los últimos años debido a la introducción masiva de energías renovables y al retiro paulatino de operación de las centrales a carbón. En el mediano y largo plazo se necesita que esta tendencia se mantenga para lograr las metas del NDC y la carbono neutralidad. La siguiente figura muestra la proyección de emisiones para los distintos escenarios evaluados. Hacia el año 2030 se proyecta un nivel de emisiones 7,7 millones tCO_{2e} para el escenario Base PSM y de 5,2 millones para el escenario PSM*. Para lograr estos niveles de emisiones, se requiere aumentar significativamente la participación de las energías renovables hasta alcanzar un valor del orden de 86% para el escenario PSM* en el año 2030. Para el año 2035 se proyecta un nivel de emisiones entre 3,1 y 4,4 millones tCO_{2e} para los escenarios CN2 y CN1 respectivamente, lo cual supone una participación de las energías renovables de 92% y 90% para estos escenarios.

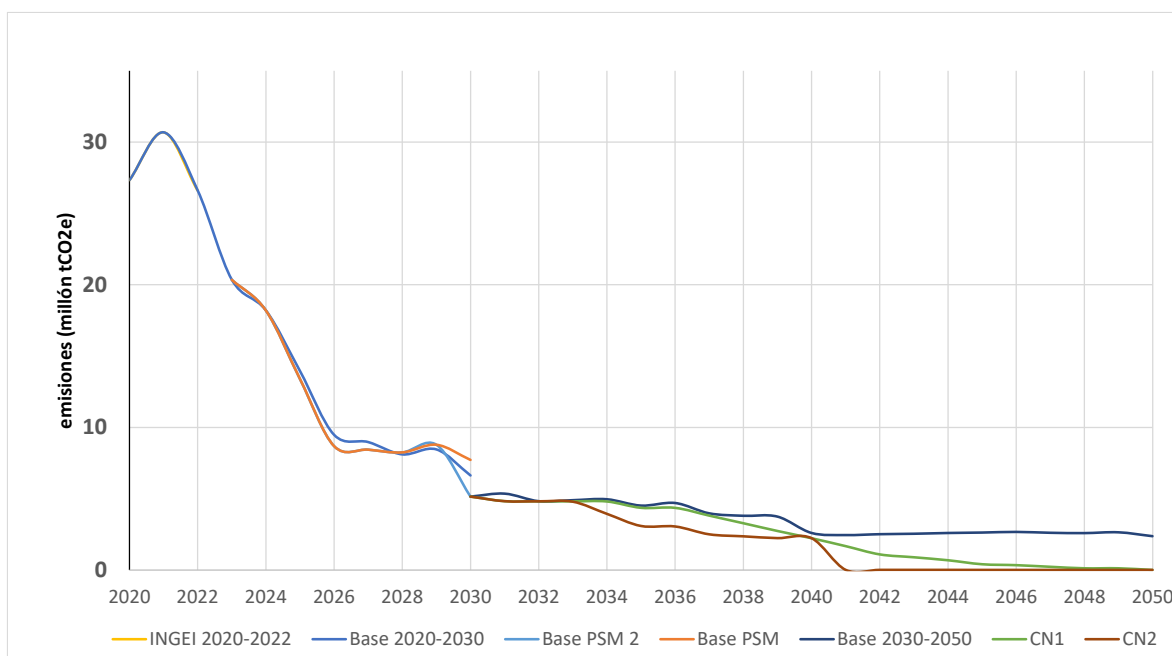


Figura 10: Proyección de emisiones del sector generación eléctrica.

4 Impacto en la calidad del aire por emisiones locales

En el contexto de la evaluación del NDC, es fundamental analizar no sólo las emisiones de GEI, sino también las externalidades en salud asociadas. Éstas se originan en el hecho que la reducción de emisiones de GEI va generalmente acompañada de reducción en las emisiones de material particulado y otros contaminantes, lo que puede resultar en efectos positivos en la salud de la población. Para este estudio se considera la reducción en efectos debidos a la reducción en las emisiones de material particulado fino ($MP_{2,5}$), el que es responsable de la mayor parte de los efectos en salud (AGIES, 2013). La concentración final, que determina el nivel de exposición y por consecuencia su impacto en salud, resulta por emisiones de $MP_{2,5}$ primario (emitido directamente) y secundario (formado en la atmósfera). Se utilizarán las emisiones de NO_x como una aproximación de primer orden de la fracción secundaria del $MP_{2,5}$.

Las siguientes figuras muestran la proyección de emisiones de $MP_{2,5}$, NO_x y carbono negro a nivel nacional para los distintos escenarios evaluados.

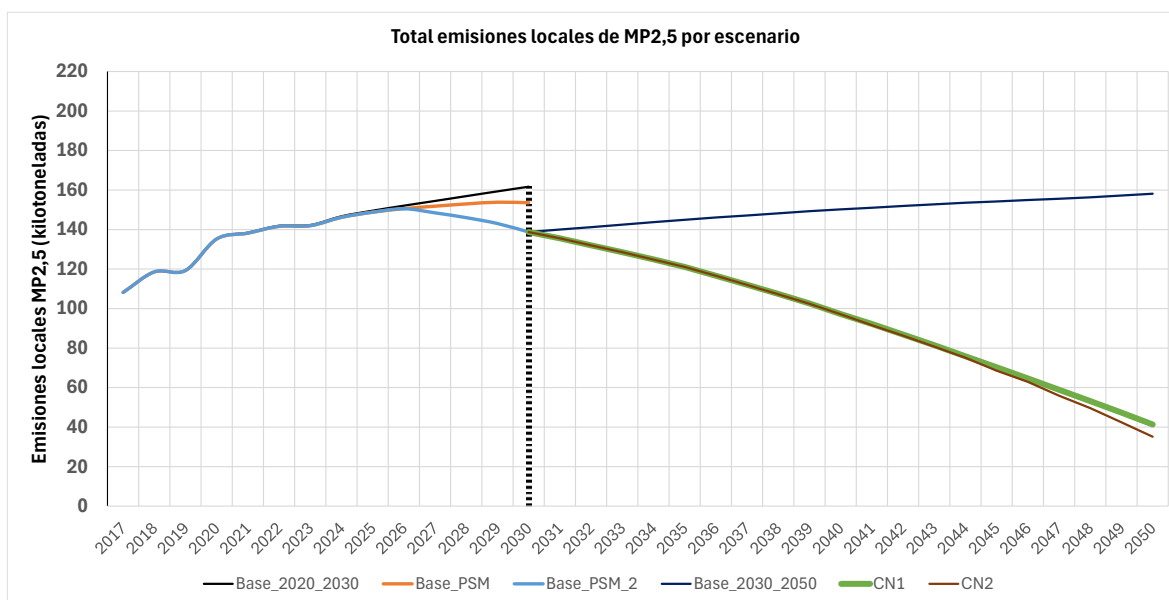


Figura 11: Proyección de emisiones de $MP_{2,5}$ a nivel nacional y por escenario.

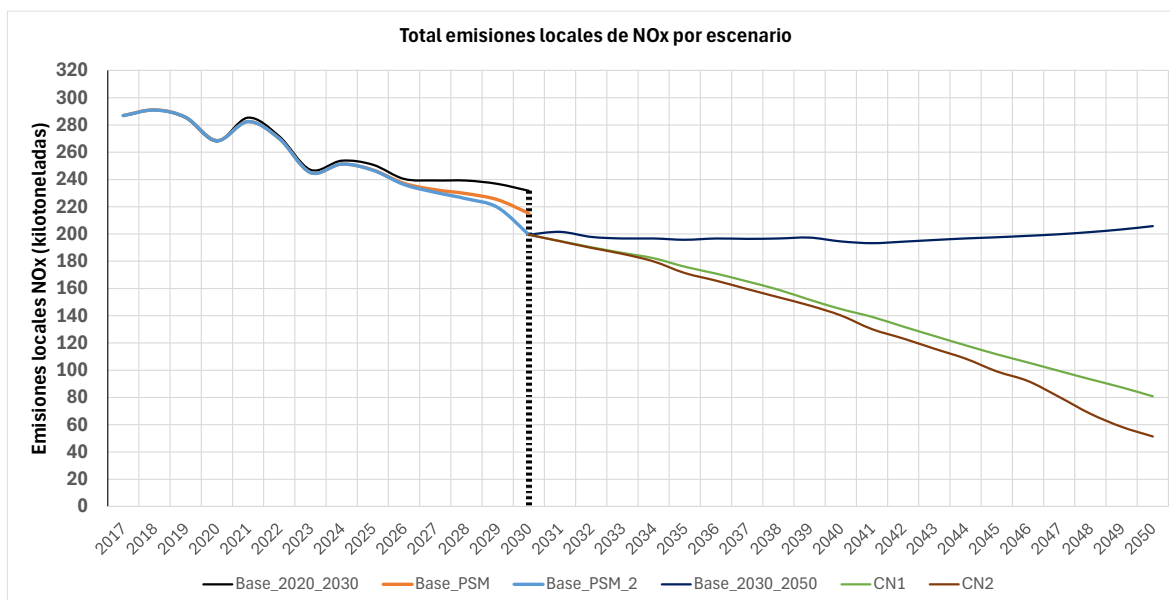


Figura 12: Proyección de emisiones de NOx a nivel nacional y por escenario.

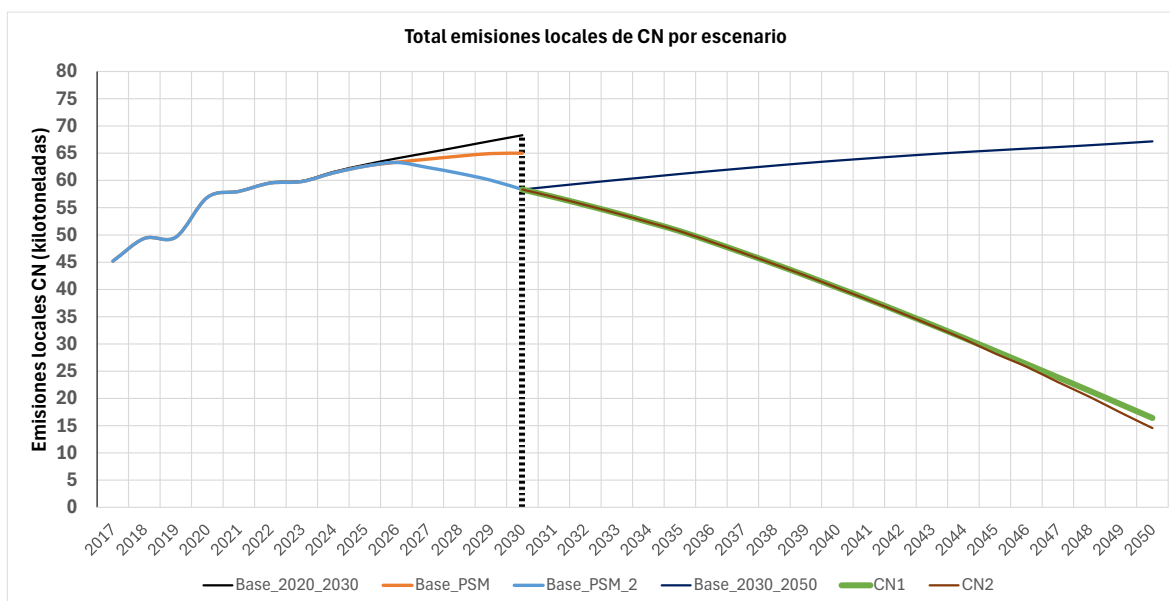


Figura 13: Proyección de emisiones de carbono negro a nivel nacional y por escenario.

Luego, aplicando la metodología de la sección 8.1.3 del informe completo, se estima el impacto en salud en cada provincia para cada año debido a la reducción de emisiones de MP_{2,5} y NO_x. Luego se suman los co-beneficios por provincia para obtener el total nacional por efecto. En los cuadros siguientes se presentan los impactos en salud para el año 2040 y 2050 a nivel nacional por tipo de efecto y contaminante

Tabla 5: Efectos físicos MP2.5 2040 y 2050, valores expresados en número de casos.

Tipo de efecto	Efecto	2040	2050
Mortalidad	Largo Plazo	7.781	20.776
Admisiones Hospitalarias	Asma	167	360
	Cardiovascular	2.442	6.29
	Respiratoria Crónica	1.109	2.757
	Neumonía	3.343	8.893
Visita Salas de Emergencia	Asma	65.308	141.497
Productividad Perdida	Días laborales	530.675	1.166.617
	Días de actividad restringida	2.742.528	6.029.078
	Días de actividad restringida menor	5.165.435	11.355.514

Tabla 6: Efectos físicos NOx 2040 y 2050, valores expresados en número de casos.

Tipo de efecto	Efecto	2040	2050
Mortalidad	Largo Plazo	1.485	4.257
Admisiones Hospitalarias	Asma	30	71
	Cardiovascular	441	1.232
	Respiratoria Crónica	157	422
	Neumonía	548	1.576
Visita Salas de Emergencia	Asma	14.438	33.692
Productividad Perdida	Días laborales	118.446	280.471
	Días de actividad restringida	612.132	1.449.476
	Días de actividad restringida menor	1.152.924	2.730.027

Se observa que el año 2040 se reducirían en 7.781 los casos de mortalidad asociadas a las emisiones directas de MP 2,5 y en 1.485 los asociados a la fracción secundaria de MP2,5, para una reducción total de 9.266 casos de mortalidad ese año. Para el 2050, estas reducciones en mortalidad alcanzan 20.776 para MP2.5 primario, 4.257 para el MP2,5 secundario, para un total de 25.033 casos de mortalidad evitada ese año.

El siguiente cuadro presenta el valor presente al año 2025 para cada escenario en millones de UF y dólares, así como su equivalente anualizado para el escenario 2020-2030 y el escenario 2020-2050.

Tabla 7: Valor (al año 2024) de las Externalidades en Salud de Escenarios de Mitigación Agregados (en Millones de UF y millones de USD)

Moneda	Valor presente (año 2025) 2020-2030	Valor presente (año 2025) 2031-2050	Valor presente (año 2025) 2020-2050	Valor Anual 2020-2030	Valor Anual 2020-2050
Millones de UF al año 2025	99	1.058	1.157	9,4	60,1
Millones USD ²	3.816	40.766	44.583	361	2.317

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se concluye que las externalidades por concepto de cobeneficios en salud para el periodo 2020-2050, asociados a las medidas de mitigación de GEI aplicadas en todo este periodo, alcanzan un valor presente al año 2025 de 1.157 millones UF (44.583 millones USD). Esto equivale a un flujo anual entre el 2020 y el 2050 de 60,1 millones de UF (2.317 millones USD) por año.

² Se utilizan valores del 30 de diciembre del 2024: 1 USD=\$997; 1UF=\$38.414

5 Conclusiones

En este estudio se evaluaron distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero con el propósito de apoyar la actualización del NDC para el periodo 2025-2035. La NDC vigente de 2020 estableció como meta mantener un nivel de emisiones inferior a 95 millones de tCO_{2e} para el año 2030 y limitar las emisiones acumuladas entre 2020 y 2030 a un máximo de 1.100 millones de tCO_{2e}.

Según las proyecciones del escenario Base PSM, las medidas incluidas en los planes sectoriales actuales no serían suficientes para alcanzar las metas de la NDC vigente. Por esta razón, resulta urgente evaluar nuevos instrumentos que permitan incorporar medidas adicionales o incrementar los niveles de implementación de las ya existentes. En respuesta a esta necesidad, se desarrolló el escenario Base PSM*. Este escenario proyecta un nivel de emisiones de 94,3 millones de tCO_{2e} para 2030, aunque el presupuesto de emisiones acumuladas se supera en un 3,4%.

A partir de 2030, se consideran los escenarios CN1 y CN2, los cuales permitirían alcanzar la meta de carbono neutralidad en 2050. Ambos escenarios suponen que para 2030 se cumple con la NDC vigente. Para 2035, las proyecciones indican niveles de emisiones de entre 86,7 y 89,0 millones de tCO_{2e} en los escenarios CN2 y CN1, respectivamente, mientras que para 2050 se espera un rango de emisiones de entre 46,1 y 53,3 millones de tCO_{2e}.

El sector transporte es actualmente la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del país, y se proyecta que esta tendencia continúe en el mediano y largo plazo. Alcanzar las metas de la NDC vigente y las proyecciones para 2035 y 2050 requiere un aumento significativo en la adopción de vehículos de cero o bajas emisiones, tanto para el transporte de pasajeros como para el transporte de carga.

Por otro lado, las emisiones del sector de generación eléctrica han disminuido en los últimos años gracias a la incorporación masiva de energías renovables y al retiro gradual de las centrales a carbón. Mantener esta tendencia en el mediano y largo plazo es fundamental para cumplir con las metas de la NDC y alcanzar la carbono neutralidad. Sin embargo, las medidas de electromovilidad, junto con la electrificación de otros sectores, incrementarán significativamente la demanda eléctrica, ejerciendo presión sobre el sistema de generación eléctrica para incorporar más fuentes de energía renovable. Se proyecta que la participación de energías renovables en la matriz energética debería ser de aproximadamente del 86% para 2030 y del 90% para 2035 para lograr las metas propuestas.

Los escenarios de mitigación de gases de efecto invernadero también tienen un impacto positivo en la reducción de contaminantes como el MP2,5, NOx y el carbono negro. Se estima que el escenario CN1 podría evitar 20.776 casos de muertes en el año 2050 debido a la exposición de MP2,5 y 4257 muertes por NOx.