

UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

TESIS DE MAGÍSTER

**ANÁLISIS DE CO-BENEFICIOS DE LA
ELECTROMOVILIDAD EN LA
REGIÓN METROPOLITANA DE
CHILE**

Autor:
BÁRBARA CÁRDENAS FARÍAS

Profesores guía:
RAÚL O'RYAN GALLARDO
SHAHRIYAR NASIROV

*Tesis realizada acorde a los requerimientos para el grado de Magíster en Ciencias de la
Ingeniería y para el título de Ingeniera Civil Industrial de la*

Facultad de Ingeniería y Ciencias

2 de septiembre de 2024

UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

Resumen

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Magíster en Ciencias de la Ingeniería y para el título de Ingeniera Civil Industrial

ANÁLISIS DE CO-BENEFICIOS DE LA ELECTROMOVILIDAD EN CHILE

por BÁRBARA CÁRDENAS FARÍAS

El transporte es un importante sector emisor de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ante lo cual, la electromovilidad se presenta como una relevante oportunidad para mitigar estas emisiones. En los países en vías de desarrollo, existen prioridades adicionales al cambio climático, por lo que el estudio de co-beneficios es crucial para impulsar la implementación de la electromovilidad.

En esta tesis se cuantifican, en un contexto urbano, los potenciales co-beneficios en salud de la electromovilidad, para lo cual se realiza una distinción entre las emisiones provenientes de escape (combustión) y de aquellas que no provienen de escape, ya que de otra manera se sobreestiman los co-beneficios.

Finalmente, se asigna un valor económico a los co-beneficios calculados, para en el futuro realizar una comparación con los costos económicos de la implementación de la electromovilidad. Los resultados muestran que los co-beneficios en salud serían significativos, alcanzando un valor de decenas de millones de Unidades de Fomento (UF), lo que permite financiar políticas que promuevan la electromovilidad.

Palabras clave: Electromovilidad, Chile, Medioambiente, Contaminación, Gases Contaminantes, Valoración de daño.

ÍNDICE GENERAL

<i>Resumen</i>	3
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	4
1. EMISIONES, CONTAMINACIÓN Y SALUD	6
1.1 CONTAMINACIÓN EN LAS CIUDADES	6
1.2 EMISIONES CONTAMINANTES EN CHILE	8
1.3 SECTOR TRANSPORTE EN CHILE.....	12
1.3.1 CONFORMACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE EN CHILE	12
1.3.2 CONTRIBUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE EN CHILE	14
2. ESTADO DEL ARTE	17
2.1 POLÍTICAS DE ELECTROMOVILIDAD IMPLEMENTADAS EN CHILE Y EL MUNDO.....	17
2.1.1 ACUERDOS EN LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN CHILE	17
2.1.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTROMOVILIDAD FUERA DE CHILE.....	20
2.2 DAÑO A LA SALUD Y CO-BENEFICIOS	22
2.2.1 INEQUIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES	22
2.2.2 DAÑO A LA SALUD POR LAS EMISIONES DEL SECTOR TRANSPORTE	24
2.2.3 EMISIONES QUE PROVIENEN DE ESCAPE Y QUE NO PROVIENEN DE ESCAPE	25
2.2.4 BENEFICIOS Y CO-BENEFICIOS DE LA ELECTROMOVILIDAD	26
2.3 VALORACIÓN DE DAÑO	27
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	32
4. METODOLOGÍA	33
4.1 ESTIMACIÓN DE EMISIONES	34
4.2 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE EMISIONES	35
4.3 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE CONCENTRACIONES	36
4.4 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE EFECTOS	36
4.5 CÁLCULO DE BENEFICIOS ECONÓMICOS	37
4.6 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS.....	37
5. RESULTADOS: CO BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN LA REGIÓN METROPOLITANA	39
5.1 EMISIONES PARA CÁLCULOS.....	39
5.1.1 EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO 2.5 Y ÓXIDO DE NITRÓGENO.....	39

5.1.2	EMISIONES POR MODO VEHICULAR	42
5.2	CO-BENEFICIOS POR ESCENARIOS DE EMISIONES	50
5.2.1	ESCENARIO BAJO	51
5.2.2	ESCENARIO ALTO	52
5.3	CO-BENEFICIOS EN SALUD SEGÚN ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL	55
5.3.1	CO-BENEFICIOS EN MORTALIDAD EN COMUNAS DE ALTA PRIORIDAD SOCIAL VERSUS COMUNAS SIN PRIORIDAD SOCIAL	55
5.3.2	ADMISIONES HOSPITALARIAS EN COMUNAS CON MENOR IPS VERSUS COMUNAS CON MAYOR ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL	58
5.4	CO-BENEFICIOS EN SALUD POR MODO VEHICULAR	64
5.4.1	CO-BENEFICIOS POR MODO VEHICULAR ESCENARIO BAJO	64
5.4.2	CO-BENEFICIOS POR MODO VEHICULAR ESCENARIO ALTO	67
5.5	VALOR ECONÓMICO DE LOS CO-BENEFICIOS EN SALUD	70
5.5.1	VALOR TOTAL DE LOS CO-BENEFICIOS POR ESCENARIO	71
5.5.2	VALOR TOTAL DE LOS CO-BENEFICIOS SEGÚN EL ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL COMUNAL	78
6.	<i>ANÁLISIS</i>	88
7.	<i>CONCLUSIONES</i>	90
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	92
	<i>ANEXOS</i>	97
	ANEXO 1: DATOS DE EMISIONES	97
	ANEXO 2: TABLAS DE VALORES	97
	ANEXO 3: POBLACIÓN	101
	ANEXO 4: CÁLCULOS Y RESULTADOS	102

1. EMISIONES, CONTAMINACIÓN Y SALUD

En la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21, en 2015) se firmó el acuerdo de París, donde los países integrantes establecieron medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y así enfrentar el cambio climático de manera sostenible [3]. Bajo esto, el Estado de Chile presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), con su compromiso de reducción de emisiones, los cuales han sido actualizadas en varias ocasiones para reforzar su compromiso. Por ello, la implementación de la electromovilidad ha sido destacada como una oportunidad para la reducción de las altas emisiones provenientes del transporte [57].

El Estado de Chile en 2017 estableció el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), alineado con el Acuerdo de París, que cuenta con metas a corto y largo plazo, donde se establece un conjunto de medidas: *“Chile se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% para 2030, tomando como base las emisiones de 2007. Este compromiso podría aumentar a un 45% si se obtiene financiamiento internacional”* [58], y de manera particular, ha elaborado la Estrategia Nacional de Electromovilidad, impulsada por el Ministerio de Energía, donde se promueve el transporte eléctrico, buscando aportar con la mitigación de emisiones de GEI y mejorar la calidad del aire.

La preocupación y cuidado del medio ambiente en Chile surge hace más de cien años, pero no es hasta la implementación de la Constitución Política de la República de 1980 que se implementa el tema ambiental en cuestiones gubernamentales, en base a lo que había ocurrido en otros países de la región [1]. Desde entonces, las políticas públicas en Chile sobre temas medioambientales han ido incorporándose de manera paulatina a la legislación.

Durante el gobierno de Patricio Aylwin se estableció la base de la política ambiental sustentable, con la promulgación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, permitiendo comenzar a enfrentar los desafíos relacionados a este tema [2]. En 1998 se establecieron las primeras Normas Primarias de Calidad del Aire para contaminantes criterio, como el Dióxido de Azufre, Monóxido de Carbono, Ozono y Material Particulado 10 [59]. La Norma Primaria de Calidad del Aire de Material Particulado Fino (MP_{2.5}) y Óxidos de Nitrógeno fueron publicadas en 2011, en los Decretos Supremos N°12 y N°13 respectivamente [60].

1.1 CONTAMINACIÓN EN LAS CIUDADES

De acuerdo con el informe de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la contaminación atmosférica de contaminantes criterio es el principal riesgo para la salud en el continente americano, debido a la alta cifra de defunciones anuales, por sobre todo en países de ingresos bajos y medios [61].

Las emisiones los contaminantes criterio provienen de variadas fuentes, tales como lo son de la quema de combustible fósil por los vehículos de combustión interna o procesos industriales, las cuales han ido en constante aumento. Cuando estas emisiones se concentran en gran cantidad en la atmósfera, afectan en diferentes medidas la salud humana, ecosistemas, animales, entre otros [5]. Es importante destacar que los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) son precursores de Material Particulado, por lo que su relevancia e impactos en salud serán analizados con mayor profundidad.

Los gases de efectos invernadero (GEI), como el Metano (CH₄) o el Dióxido de Carbono (CO₂), pueden ser emitidos de manera natural, por ejemplo, en la respiración humana o en la descomposición de la materia orgánica, o pueden ser emitidos de manera artificial en la actividad humana. [9]. Las ciudades y, en especial, el transporte son una fuente significativa de Gases de Efecto Invernadero, los cuales, pese a que no afectan directamente la salud de las personas, su concentración en la atmósfera contribuye al cambio climático que trae consigo efectos indirectos sobre el medio ambiente y la salud de las personas.

En Chile, los esfuerzos más significativos para mejorar la calidad del aire comienzan en el año 1980 con la Constitución Política Chile, en la cual se consagra “*El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.*” [1]. En 1994 se estableció la Ley de Bases del Medio Ambiente, siendo la primera ley en el país que aborda temas sobre contaminación atmosférica, donde se establece la obligación de desarrollar planes de descontaminación en las zonas que se exceda la normativa existente [62]. Esto ha permitido lograr significativas mejoras en la calidad del aire, mas no ha sido suficiente, ya que aún no se ha logrado cumplir con la norma ambiental establecida.

En 2017 el Ministerio del Medio Ambiente de Chile presentó la primera versión de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), donde se mencionan los compromisos del Estado de Chile con respecto al cambio climático, tal como disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 30% para 2030, considerando las emisiones de 2007 como base [58]. En 2020 las NDC tuvieron su primera actualización, incluyendo metas aun más ambiciosas. En 2024 se inició una nueva actualización, por lo cual se reforzó el compromiso anterior, así como también se alineó con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura del planeta a 1,5°C [63].

De manera complementaria, en 2021 se implantó la Estrategia Climática a Largo Plazo (ECPL), donde se describen de manera detallada, en un lapso de 30 años, los planes y las acciones que se tomarán para cumplir con los compromisos realizados a la comunidad internacional. [6].

No es hasta 2022 que Chile cuenta con su primera Ley Marco de Cambio Climático, que busca la carbono neutralidad para el 2050 y que involucra a 17 ministerios. Esta ley tiene como objetivo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y con ello, los efectos adversos que tiene para las personas, dado el impacto en el planeta.

Si bien es importante poner atención en todos los problemas ambientales que existen en Chile, la Región Metropolitana requiere especial atención debido a la gran densidad poblacional y a su alta emisión de gases de efecto invernadero con respecto a otras regiones [7]. Una de las principales causas al momento de hablar de la concentración de gases de efecto invernadero en la Región Metropolitana se debe a su ubicación geográfica, dado que se encuentra encerrada por altos cordones montañosos, lo cual dificulta la circulación del aire. Sumado a lo anterior, la actividad humana ha empeorado la situación con el explosivo crecimiento de la ciudad, el uso masivo de vehículos y la gran cantidad de empresas existentes. Pese a que se han tomado acciones que limitan o intentan compensar las emisiones, estas medidas no han sido suficientes para lograr la mitigación [8].

Estos altos niveles de contaminación, tiene importantes efectos negativos, por sobre todo en la salud humana. Una alta concentración en la atmósfera de los contaminantes criterio, como lo son el Material Particulado 10 (MP₁₀), Material Particulado 2.5 (MP_{2.5}), Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO) y Plomo (Pb), son capaces de generar y agravar enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares [9].

Los contaminantes primarios, como el Óxido Nítrico (NO) y el Material Particulado (MP), son emitidos de manera directa al aire desde una fuente específica, como pueden ser las emisiones de vehículos de combustión, procesos industriales o fuentes naturales como las erupciones volcánicas, lo cual produce tanto efectos en la salud humana como en el medio ambiente. Por otro lado, los contaminantes secundarios, como el Ozono (O₃) y el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre contaminantes primarios y otros componentes del aire [64].

Las partículas de Material Particulado de diámetro de menos de 10 micrómetros (MP₁₀) y menos de 2.5 micrómetros (MP_{2.5}) son las más relevantes en relación a la salud humana, por su capacidad de infiltrarse en el sistema respiratorio, pudiendo afectar tanto los pulmones como el corazón, pudiendo provocar o empeorar morbilidad y mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares [10].

Hay evidencia de que en Chile las emisiones de Material Particulado 2.5 han sobrepasado la norma chilena (50 ug/m³) y, por ende, la recomendación de emisiones de la Organización Mundial de la Salud (25 ug/m³), lo que ocasionó más de 3.600 muertes prematuras en 2018 [11].

1.2 EMISIONES CONTAMINANTES EN CHILE

El Material Particulado Fino (MP_{2.5}) es uno de los contaminantes primarios que mayor impacto negativo genera en la salud de las personas. Dentro de los principales efectos que tiene en la salud humana se encuentra el provocar o agravar las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, que incluyen el asma, alergias y la bronquitis, por sobre todo en aquellas personas que más se expone a las partículas que provienen desde el área del transporte [12]

Según el Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes 2005 - 2020, publicado en el año 2023 por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile, el año 2020 se emitieron más de 170 mil toneladas de Material Particulado 2.5. Del total de las emisiones de este contaminante, la combustión de leña residencial aporta un 70%. La composición completa de las emisiones de MP_{2.5}, está representado en la siguiente imagen [14]:

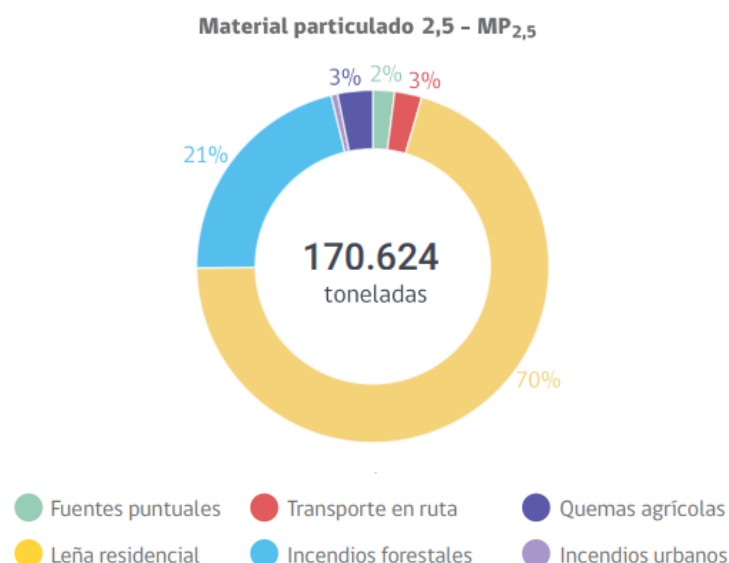


Imagen 1: MP_{2,5} – Composición de las emisiones por tipo de fuente [14]

El total de emisiones de Material Particulado 2.5 y las fuentes que le dan origen son diferentes por regiones. La región de La Araucanía es aquella que mayor tonelada de emisiones genera, con un total de 35 mil, de las cuales son cerca de 30 mil provenientes de leña residencial. Le sigue la región del Biobío, con casi 25 mil toneladas emitidas; la tercera región con más emisiones es Los Lagos, con una emisión cercana 25 mil toneladas. En la Región Metropolitana, el transporte es responsable de alrededor de 3200 toneladas, que corresponden aproximadamente a un 27% del total. Las emisiones totales en las demás regiones del país, junto con sus fuentes, están reflejadas en la siguiente imagen [14]:

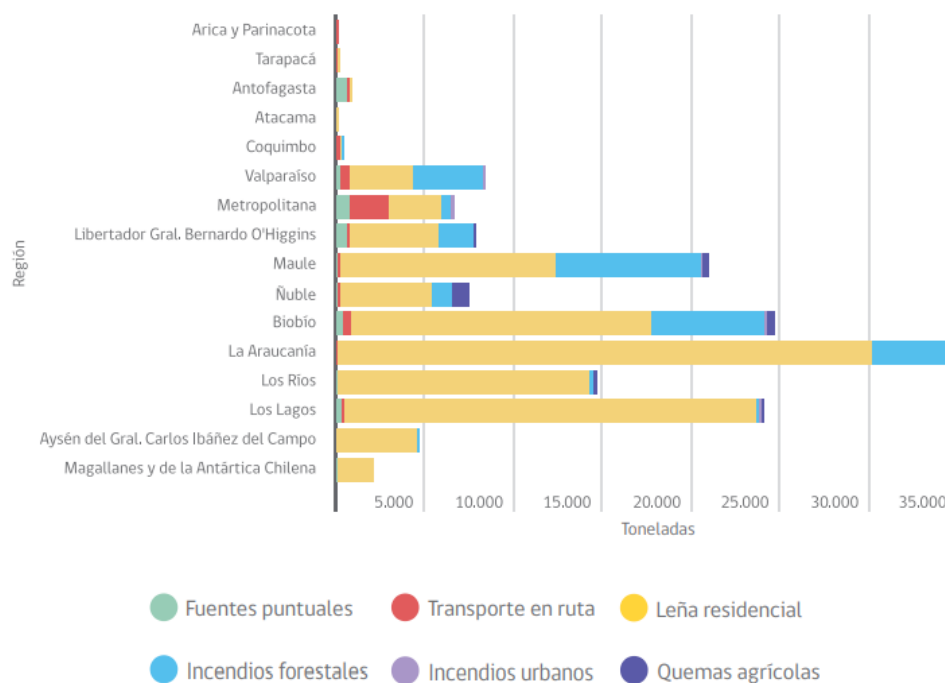


Imagen 2: MP_{2,5} – Distribución de las emisiones por región [14]

Con respecto a la distribución por rubro, la mayor fuente emisora es la industria manufacturera, la cual equivale a una emisión del 47% (1583 toneladas) del total; le sigue el área de las termoeléctricas, con un 18% de las emisiones (603 toneladas). La distribución por otros rubros es la siguiente [14]:

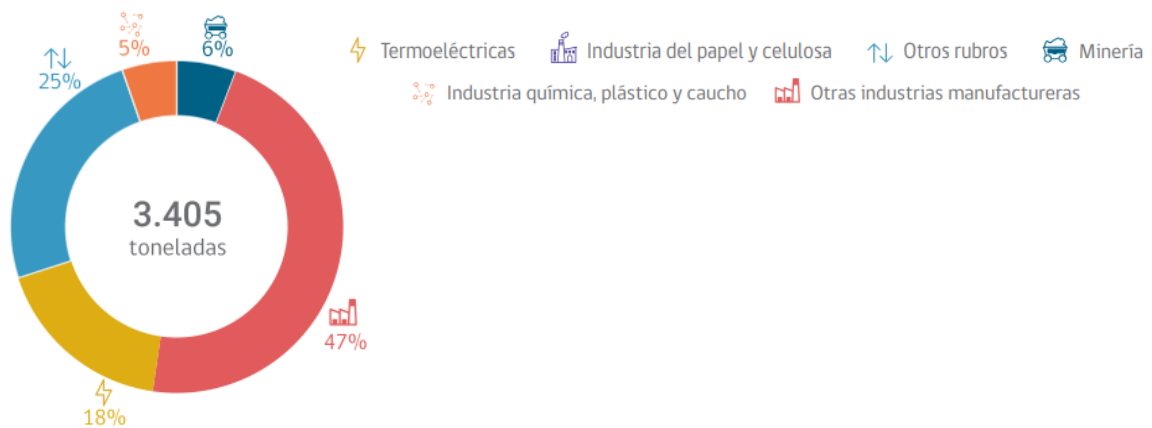


Imagen 3: $MP_{2.5}$ – Distribución de las emisiones por rubro [14]

En la distribución por rubro en la Región Metropolitana también destacan las emisiones de industrias manufactureras con un 41%. La distribución de los demás rubros es la siguiente:

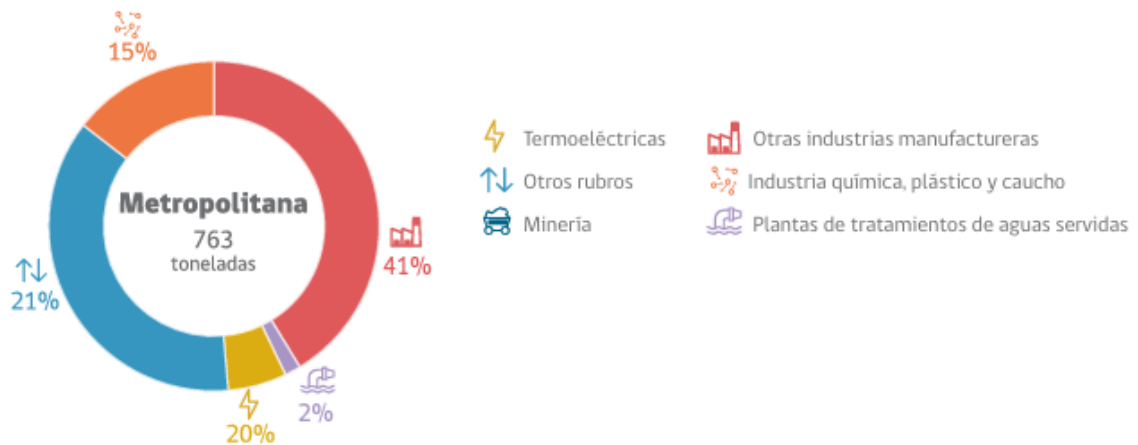


Imagen 4: $MP_{2.5}$ - Emisiones puntuales por rubro en la Región Metropolitana [14]

El Óxido de Nitrógeno se genera por combustión a alta temperatura. Este contaminante es capaz de generar irritación en los pulmones, aumentando las enfermedades, infecciones e insuficiencias respiratorias, como por ejemplo bronquitis y neumonía, además de problemas en algunos órganos, como hígado o bazo, además de otros sistemas, como el inmunitario y el circulatorio, agravando lo anterior. Además, contribuye a la formación de algunas partículas inorgánicas, ozono y otros componentes fotoquímicos, lo cual de manera indirecta genera afecciones a la salud humana y al medio ambiente [13].

El año 2020 se emitieron 259.615 toneladas de Óxido de Nitrógeno, las cuales principalmente provienen desde fuentes puntuales, como por ejemplo industrias o fábricas, lo que significan

184.102 toneladas (71%), mientras que el transporte en ruta emitió 39.339 toneladas (15%). Las demás fuentes se encuentran representadas en la siguiente imagen [14]:



Imagen 5: NOx – Composición de las emisiones por tipo de fuente [14]

En la distribución de emisiones de Óxido de Nitrógeno por regiones, aquellas que tienen mayores toneladas de emisiones son Biobío (32%), Antofagasta (13%), Metropolitana (12%) y Valparaíso (8%); en las dos primeras, las emisiones provienen en su mayoría desde fuentes puntuales, pero en la región Metropolitana y Valparaíso, una parte importante de ellas proviene por el transporte en ruta, siendo las dos regiones con mayores emisiones desde esta fuente. Las emisiones totales en las demás regiones del país, junto con sus fuentes, están reflejadas en la siguiente imagen [14]:

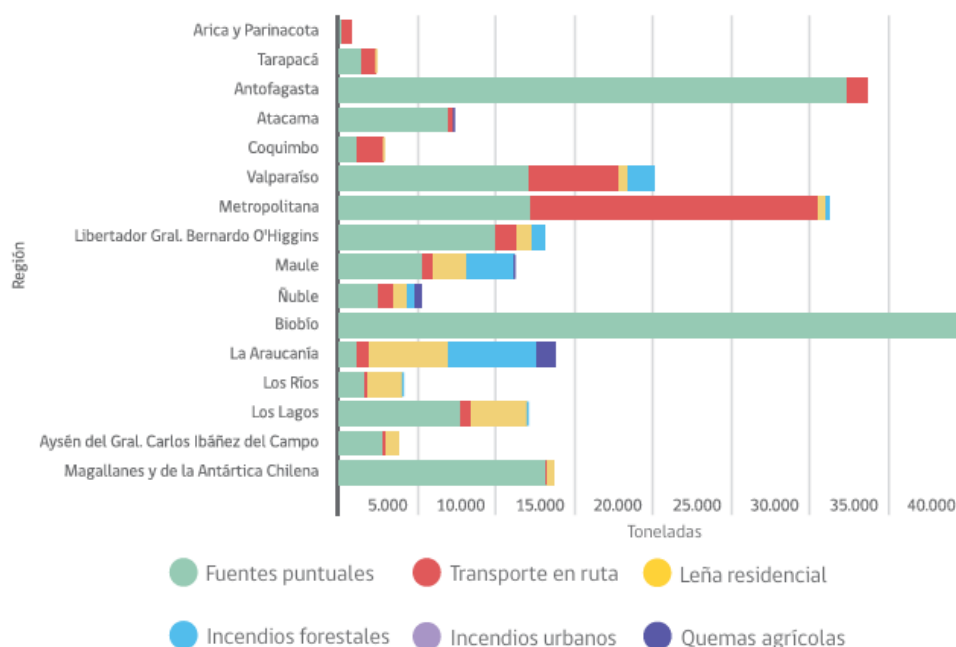


Imagen 6: NOx – Distribución de las emisiones por región [14]

La distribución por rubro de NOx es similar a la distribución de MP_{2.5}, ya que al igual que en el caso anterior, la industria manufacturera es aquella que más emisiones tiene, la cual equivale a un 47% (86144 toneladas), también seguido por las termoeléctricas con un 19%. La distribución por otros rubros es la siguiente [14]:



Imagen 7: NOx – Distribución de las emisiones por rubro [14]

1.3 SECTOR TRANSPORTE EN CHILE

En este apartado se caracteriza el sector transporte en Chile y su contribución a las emisiones de contaminantes criterio. Además, se examina su importancia en la Región Metropolitana, que es el objeto central de este estudio.

1.3.1 CONFORMACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE TERRESTRE EN CHILE

Durante el 2021 la Asociación Nacional Automotriz de Chile A.G (ANAC) publicó un informe del mercado automotriz, el cual entrega información con respecto al comportamiento de este nicho en Chile. Dentro de este informe se destaca que había 5.447.142 vehículos livianos y medianos en tránsito en Chile, cifra que aumentó con respecto al año anterior y que significa una tasa de 3,6 personas por vehículo.

De acuerdo con los datos expuestos anteriormente, el 42% se encuentra en la Región Metropolitana, donde el 75% corresponde a SUV y vehículos de pasajeros, y que el 19,5% corresponde a camionetas pick-up y minitrucks. Considerando solo la Región Metropolitana, se indica que los vehículos livianos y medianos de esta zona, en promedio, tienen 7,6 años de antigüedad, siendo la más joven del país.

Según los permisos de circulación pagados en Chile, el parque automotriz y la renovación vehicular en Chile se compone de la siguiente manera:

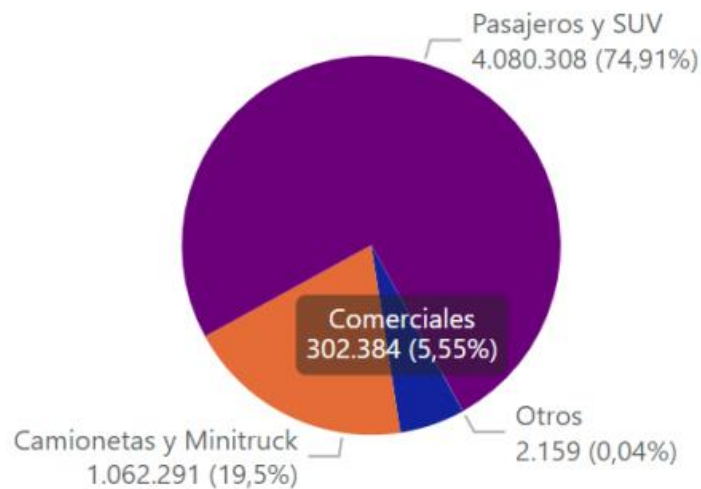


Imagen 8: Conformación del parque automotriz en Chile [15]

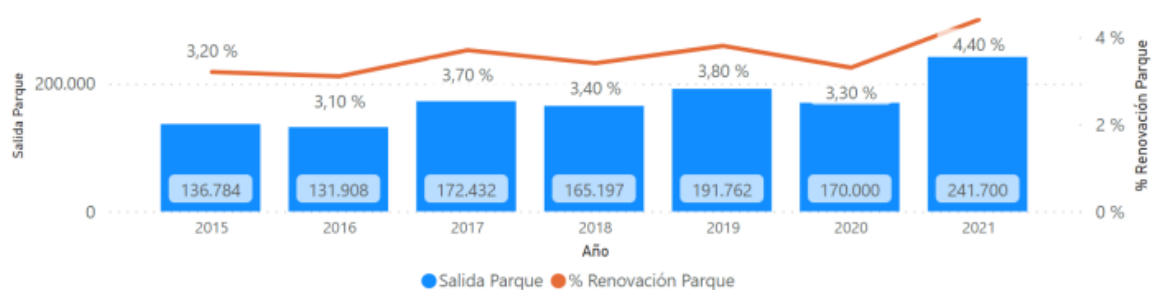


Imagen 9: Salida del parque automotriz y porcentaje de renovación [15]

A modo de proyección, un estudio basado en la proyección del parque, actividad vehicular y la obsolescencia, indica que el parque vehicular el 2030 llegaría a las 8.352.598 unidades, donde habría 550.000 unidades vendidas [16]. Lo anterior, en comparación a otros años, se puede ver reflejado de mejor manera en la siguiente imagen:

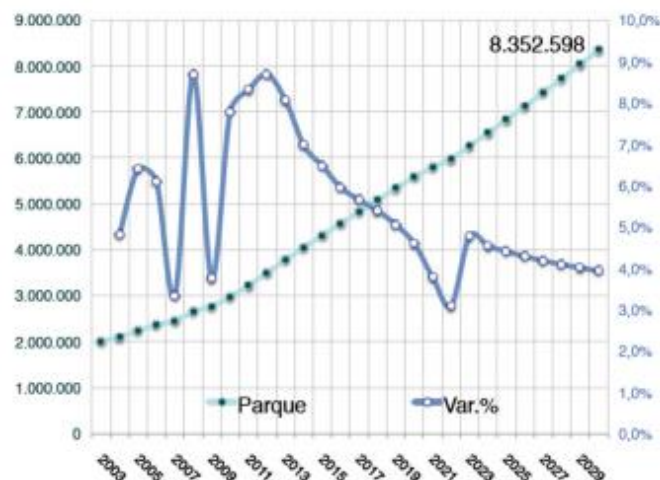


Imagen 10: Proyección Parque Vehicular al 2030 [16]

1.3.2 CONTRIBUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE EN CHILE

La siguiente imagen, extraída del Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes 2005 - 2020, publicado en el año 2023 por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile, muestra la distribución del total de emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2), Dióxido de Carbono (CO_2), Material Particulado 10 (MP_{10}), Material Particulado 2.5 ($\text{MP}_{2.5}$) y Óxido de Nitrógeno (NO_x), según el tipo de vehículo [14]:

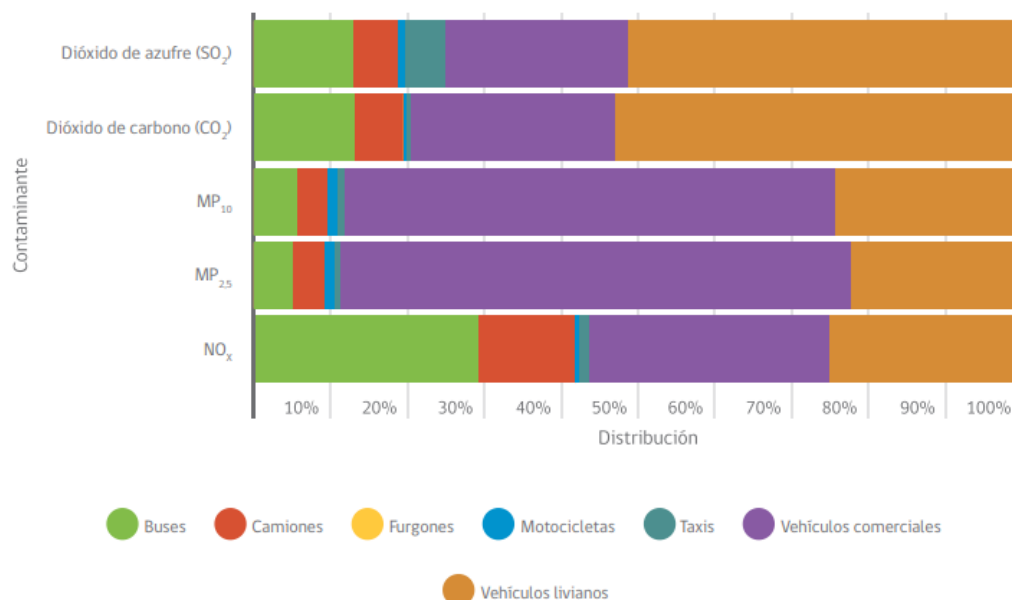


Imagen 11: Distribución de las emisiones en distintos contaminantes, según modo vehicular [14]

De esta imagen es importante destacar que, del total de las emisiones de Material Particulado 2,5 los vehículos comerciales son responsables de la mayor parte, siendo aproximadamente un 60%, mientras que, del total de las emisiones de Óxido de Nitrógeno, tanto buses, como vehículos livianos y vehículos pesados son responsables de alrededor de un 30% cada uno.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 correspondientes al sector transporte a nivel nacional han ido en aumento, iniciando cerca de las 1.000 toneladas en 2005, y finalizando cerca de las 4.000 toneladas en 2020.

Así mismo, las emisiones de NO_x a nivel nacional, entre 2005 y 2014 fueron en aumento, alcanzando entre 50mil y 80 mil toneladas por año, sin embargo, desde entonces han ido en baja, llegando a 40mil en 2020. Una comparativa está representada en la siguiente imagen [14]:

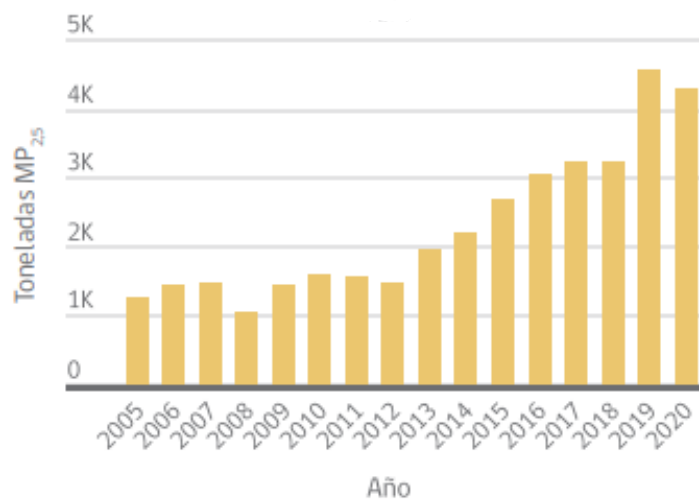


Imagen 12: MP_{2.5} - Emisiones por año del sector transporte de MP_{2.5} [14]

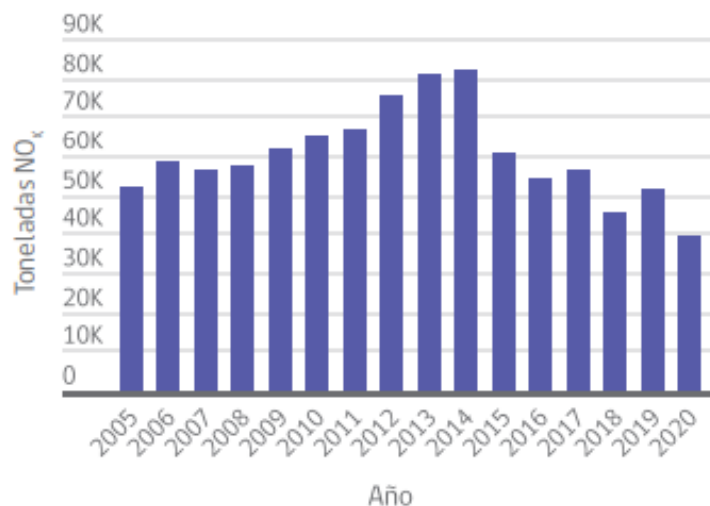


Imagen 13: NO_x - Emisiones por año del sector transporte [14]

Las emisiones en el año 2020 señaladas anteriormente, no fueron emitidas de manera equitativa en las diferentes ciudades del país. Las emisiones tanto de MP_{2.5} como NO_x se encontraron en mayor proporción en el Gran Santiago, seguidos, en una proporción considerablemente menor, por Gran Concepción y Gran Valparaíso, donde representan el 76,28% y 69,44% respectivamente. Esta distribución, en toneladas, se encuentra reflejada en las siguientes imágenes [14]:

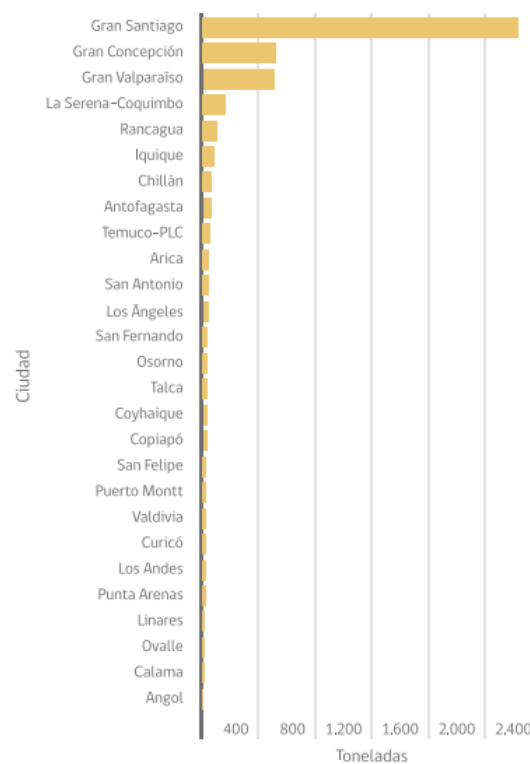


Imagen 14: $MP_{2.5}$ – Distribución de emisiones por zonas [14]

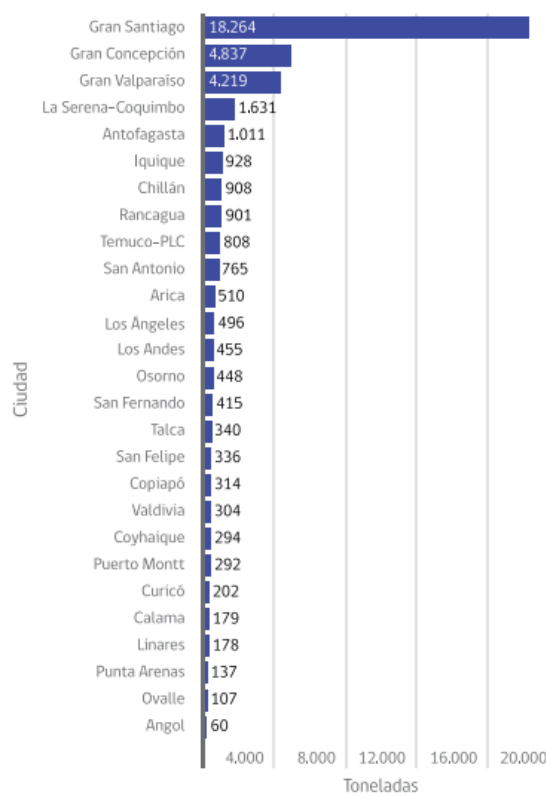


Imagen 15: NO_x – Distribución de emisiones por zonas [14]

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se examina el estado del arte en tres temas relevantes para este estudio: las políticas de electromovilidad en Chile y el mundo, la reducción en daños en salud y consiguientes co-beneficios de reducir las emisiones de Material Particulado primario y secundario, y las metodologías utilizadas para valorar las mejoras en calidad del aire.

2.1 POLÍTICAS DE ELECTROMOVILIDAD IMPLEMENTADAS EN CHILE Y EL MUNDO

En esta sección se analizan las diferentes políticas adoptadas en diferentes países, especialmente en Chile, en concordancia con la Agenda 2030. Para el caso chileno, se detalla la Estrategia de Electromovilidad, así como aplicaciones tanto del sector público como privado. Para el extranjero, se presentan casos de implementación en su mayoría de manera privada, en diferentes países y en diferentes rubros.

2.1.1 ACUERDOS EN LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN CHILE

Los miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), junto a Organizaciones No Gubernamentales (ONG), se reunieron en el 2015 con el fin de mantener un equilibrio en lo económico, ambiental y social, por lo cual aprobaron la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible que cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y con 169 metas en total. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible abarcan temas como la educación de calidad, igualdad de género y cuidado del medio ambiente [17].

El vínculo entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Electromovilidad se genera con el séptimo: “Energía asequible y no Contaminante” y el onceavo “Ciudades y comunidades sostenibles”, ya que ambos hacen referencia a los Gases de Efecto Invernadero, energía limpia y un transporte más limpio [18].

El Estado de Chile en el año 2016 formó un Consejo Nacional para lograr implementar la Agenda 2030, el cual reúne a distintas entidades [17]. Dentro del plan de acción, se generó una nueva estrategia de trabajo para lograr insertar la Electromovilidad en Chile de manera segura y sustentable, con principal foco en el transporte público, y así aumentar la eficiencia y a la vez reducir la emisión y concentración de gases contaminantes en la atmósfera terrestre. Con esta Estrategia se busca cumplir con los compromisos que se hicieron para conseguir mitigar el cambio climático. Para esto se han diseñado 5 Ejes Estratégicos, junto con sus Líneas de Acción, que abarcan temas como Regulación y Estándares, Transporte Público como Motor de Desarrollo, Fomento de la Investigación y Desarrollo de Capital Humano, Impulso Inicial al Desarrollo de la Electromovilidad, Transferencia de Conocimiento y Entrega de Información y Gestión de la Estrategia Nacional de Electromovilidad [19].

De manera conjunta a la Estrategia de Electromovilidad, durante octubre de 2023, impulsado por el Ministerio de Energía, se firmó la sexta versión del Acuerdo Público Privado por la Electromovilidad (AEM) 2023-2024; esta versión rompió un récord al contar con 157

organizaciones. En este acuerdo, se recordó el objetivo que se tiene del 5% de las ventas eléctricas al 2025, con el fin de alcanzar la electrificación esperada, además de los principales puntos de enfoque: Infraestructura de carga, transporte público y descentralización, educación y capacitación, seguridad vial y regulación. Dentro de estas organizaciones, existen instituciones de educación, abastecedores de combustible y electricidad, automotoras, instituciones financieras, empresas públicas, empresas de reparto a domicilio, mineras, instituciones públicas, entre otros.

Las empresas, en términos generales, mencionan compromisos como mejoras de flotas, a través del aumento o reemplazo de vehículos eléctricos, capacitaciones a su personal, constante apoyo en conversatorios e investigaciones, implementación de conversatorios y difusión sobre electromovilidad a la comunidad, apoyo con financiamientos, aumento de electroterminales, y ampliación del mercado de venta de vehículos eléctricos, junto con el aumento de venta de productos y maquinaria de construcción ligado a la electromovilidad.

La Agencia de Sostenibilidad Energética, por su parte, busca un cambio más integral en la sociedad. Pretende un mayor recambio de Taxis de combustión interna a eléctricos en distintas regiones, así como añadir más informativos sobre micromovilidad. También plantean realizar estudios para futuras adquisiciones e implementaciones de vehículos livianos, de carga y de pasajeros, sobre financiamientos, nuevas implementaciones de infraestructura y de estaciones de carga rápida.

Por otro lado, Copec Voltex en 2023 completó un total de 130 puntos de carga rápida, con especial foco en regiones y llegó a 150 puntos de carga rápida en la Región Metropolitana. Para fines de 2023 ya contaban más de 600 clientes residenciales con cargadores instalados en domicilios y edificios. Ya existiendo alrededor de 10 electroterminales en la Región Metropolitana, buscan instalar el primero fuera de ella, que abastecerá a 40 buses de transporte público [20].

Si bien, en su mayoría, las aplicaciones de la Electromovilidad son más conocidas en vehículos pequeños, también son para vehículos pesados. Diferentes industrias de distintas áreas han decidido implementarlo a su flota. Algunos casos de estas implementaciones son:

- Transporte de pasajeros
 - Buses eléctricos RED: Se inició con una prueba de 200 buses. Fue una de las principales implementaciones en Latinoamérica. Actualmente hay más de 600 buses eléctricos operando, y se cuenta con un gran electroterminal de carga rápida en la ciudad de Santiago.
 - Taxis ejecutivos eléctricos en Santiago: La empresa Engie, junto con E-mov y Transvip comenzaron la implementación de Taxis en Santiago de Chile.
 - Bus interurbano eléctrico: La empresa TurBus en el tramo Rancagua – Santiago, comenzó la implementación de buses eléctricos. Este tramo fue escogido por la distancia que se recorre.
 - Usuarios particulares y trabajadores: Existen empresas que impulsan a sus clientes a utilizar vehículos eléctricos, así como hay empresas que integraron estos vehículos a sus flotas para que sean sus trabajadores quienes usen y prueben estos vehículos [21].
- Transporte de carga
 - Furgones – Empresa de Agua Potable: En Aguas Andinas lo implementaron desde 2016. Desde junio de 2019 sumaron una flota de 23 furgones eléctricos. Como resultados obtuvo:

Cumplen con el requerimiento operacional para el traslado de materiales, equipamiento, herramientas y personas; Operación sustentable, con cero emisiones locales y de CO₂; Reducción del costo operacional; Mejora de la imagen corporativa; Operación con bajo ruido; Mejora en el confort para trabajadores.

- Camiones de reparto - CCU: Comenzó con una flota de 4 camiones CitEcar modelo 1.5T, que buscan reducir congestión y contaminación en la comuna de Santiago. Luego probaron con el camión BYD T8A para reparto de tonelaje. Su meta es llegar al 2030 con al menos el 50% de su flota en vehículos eléctrico. Para el futuro se encuentran evaluando nuevos vehículos con respecto a la capacidad de carga.
 - Triciclos eléctricos en Santiago: Desde el 2016 ha ido aumentando su flota en las calles de Santiago. No se exige licencia ni permiso de circulación, además, no lleva patente. Usan enchufe tradicional del hogar, el tiempo de carga es entre 6 y 8 horas, su velocidad máxima es aproximadamente 25 [km/h], tienen una autonomía entre 18-30 [km] y una capacidad de carga entre 300-400 [kg] [22].
- Otras áreas y usos:
- Salud: Adaptación de los vehículos, tales como laboratorios, móviles, vacunatorios, taxis de traslados de pacientes y médicos.
 - Blockchain: Se espera que esta tecnología de almacenamiento de información segura entregue soporte a las interacciones de personas, vehículos eléctricos y estaciones de carga.
 - Electromovilidad y Energías renovables: Su interacción promete maximizar los beneficios económicos y ambientales en la medida que la energía para el transporte provenga de fuentes limpias.
 - Empresas de baterías: Provisión de nuevos sistemas de almacenamiento de energía.
 - Empresas de conversión de vehículos: La electrificación del transporte tiene varios caminos y uno de ellos es la conversión de vehículos de combustión.
 - Micromovilidad: Engloba medios de transportes con vehículos pequeños o de baja energía, como scooters y bicicletas eléctricas de servicios compartidos.
 - Conducción autónoma: Se espera que la conducción autónoma se desarrolle en paralelo a la masificación de vehículos eléctricos, y con esto, integrar cada vez más tecnologías al transporte [23].

El Ministerio de Energía de Chile, a través de su plataforma de Electromovilidad, presenta el caso y la experiencia de una familia chilena que compró un vehículo eléctrico liviano pensando en el cuidado del medioambiente, y destacan que: utilizan el vehículo durante la semana (lunes a viernes) para trayectos no muy largos; Consideran que es más fácil manejar este tipo de vehículos, ya que tiene menos palancas que uno que funciona con combustible fósil; Con respecto a la batería, la cargan una vez a la semana en el hogar, lo cual toma 12 horas para pasar de un 30% a un 100%; Es fácil de conectar, es como si fuese un aparato eléctrico cualquiera; El consumo de energía mensual no es elevado, ya que les aumentó solo en \$2.000 o \$3.000; En relación con el funcionamiento del vehículo, lo han conducido por varios años y no han tenido fallas; Destacan que las mantenciones que le han realizado son más cortas dado que posee menos elementos; Comentan sobre un único inconveniente, donde les rechazaron el pago del permiso de circulación ya que no tenía el documento de revisión de gases, por lo que tuvieron que ir directamente al municipio para evaluar el caso, que, luego de los trámites, fue aprobado; Finalmente, mencionan que el vehículo lo han utilizado para largas distancias, donde han tenido la oportunidad de utilizar la aplicación de

Eco Carga que les señala donde se encuentran las electrolinerías en carretera, destacando que éstas se encuentran aproximadamente cada 100 [km] y permiten cargar el vehículo al 80% en 20 – 25 minutos [24].

Con respecto a la proyección esperada de la Electromovilidad en Chile, se estima que entre 2025 y 2030 los vehículos eléctricos igualarán el precio que aquellos vehículos de combustión interna. El Estado de Chile estableció como meta que para el 2040 la totalidad del transporte público urbano sea en base a vehículos eléctricos, así como también que para el 2050 el 40% de los vehículos del parque sean eléctricos. Para el 2050, en Chile se tiene como meta que la movilización eléctrica de vehículos particulares sea de un 40%, y la del transporte público urbano corresponda al 100% de la flota [19].

En relación con las emisiones, se tiene como meta una reducción del 20% de la demanda proyectada para el 2025. Así mismo, se espera que con el ingreso de vehículos eléctricos livianos se reduzcan anualmente 11 millones de toneladas de CO₂, lo que equivale en gasto energético de un país, a U\$3.300 millones anuales, un 1,5% del PIB del 2016 en Chile [19].

El Estado de Chile se ha propuesto diferentes metas, las cuales son tanto al mediano como al largo plazo. Dentro de estas metas, se ha propuesto que al 2035 los buses del transporte público que sean implementados, los vehículos livianos y medianos vendidos sean completamente cero emisiones, así como al 2045 también los buses interurbanos y de transporte terrestres de carga. Con respecto a la maquinaria minera, forestal y de construcción de más de 560 [kW] de potencia, se espera que para el 2035 sean cero emisiones, y para el 2040 las de más de 19 [kW] [19].

2.1.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTROMOVILIDAD FUERA DE CHILE

En busca de un mundo más sostenible, la implementación de la electromovilidad fuera de Chile también ha sido significativa. La venta de vehículos eléctricos ha ido en aumento; en el año 2022 se vendieron más de 10 millones de vehículos alrededor del mundo, y se espera que para el 2026 ya existan más de 26,6 millones de vehículos eléctricos en circulación.

Dentro de los países (o sectores del mundo) con mayor flota en el mundo se encuentran China, con más del 50% de los vehículos eléctricos en circulación, Europa, que, del total de sus ventas de vehículos, el 15% fue de vehículos eléctricos, y Estados Unidos, que incrementó sus ventas de vehículos eléctricos en un 55%. Con respecto a América Latina y el Caribe, si bien tiene una participación inferior a lo anteriormente mencionado, existe un aumento exponencial de la venta y uso de vehículos eléctricos [25].

Una de las empresas pionera en el área de electromovilidad es Tesla Motors, la cual diseña, fabrica y vende vehículos eléctricos, que se cargan con energía limpia, techos solares e instalaciones solares fotovoltaicas, que permiten la producción de energía doméstica y comercial, y baterías domésticas, para el almacenamiento de la energía producida [26]. Para el año 2023, las utilidades de la empresa habían aumentado un 19,4% con respecto al año anterior, lo cual asciende a casi 15 mil millones de dólares [27].

Noruega se ha convertido en un líder en la implementación de la electromovilidad. Para impulsar el

uso de estos vehículos, ha propuesto una serie de medidas importantes, como lo son la exención del impuesto anual de circulación para los propietarios de los vehículos, utilización de pistas preferentes, descuento de un 50% en tarifas de ferry y en estacionamientos, estaciones de carga gratuita en diversas zonas [28] y pagos de un máximo del 70% en peajes [29].

China, en línea con lo anterior, también ha implementado medidas para promover la compra y uso de vehículos eléctricos, como lo es el subsidio para la compra de éstos, el cual tuvo un gran costo monetario para el país. En 2020 se anunció el Plan de Desarrollo de la Industria de Vehículos de Nueva Energía, para estructurar el mercado; con ello se aumentará y potenciará la investigación en apoyo del desarrollo e innovación para este nuevo uso de la energía, así como potenciar la conectividad y el intercambio de información por sobre todo en la cooperación internacional, además de la construcción de infraestructura adecuada para el transporte y carga de la energía. Se espera que desde el 2021 la venta de vehículos eléctricos del sector público aumente, llegando al 80% en zonas específicas [30].

Estados Unidos se encuentra considerando implementar nuevamente el crédito fiscal de US\$7.500, para reimpulsar la venta de estos vehículos, sobre todo en empresas como Tesla, General Motors y Toyota. Pretenden que para el 2030 los vehículos eléctricos sean alrededor del 50% de las ventas totales, y para el 2035 solo vender vehículos cero emisiones, por lo cual se han hecho alianzas para el desarrollo de estaciones de carga rápida a lo largo de las carreteras de los 48 estados [31].

En Europa se ha creado una alianza entre 9 países y 30 entidades en busca de potenciar el uso de estos vehículos. Se ha propuesto tanto que desde 2035 solo se encuentren a la venta vehículos cero emisiones, así como la inversión en distintos sectores, como en los de proveedores de servicio de movilidad, fabricantes de infraestructura, operadores de sistema de distribución y puntos de carga [32].

Algunos otros casos de implementación son en el resto del mundo son:

- Camión de compañía cervecera de Brasil: El primer camión eléctrico Volkswagen e-Delivery (170kWh de batería y 200km de autonomía) se integró en 2018 a la flota de la compañía cervecera Ambev, luego de un periodo de prueba de un mes. Desean ampliar su flota con 1600 camiones eléctricos Volkswagen.
- Robots de reparto en Bogotá: Con el COVID-19, se unieron Rappi y KiwiBot, con 15 robots, con capacidad de 35 [cm³] y 8 [kg], para las entregas de pedidos a domicilio. Esta flota cumple 120 pedidos diarios. Funcionan en tramos cortos y con pagos por medios digitales. Dejó de funcionar, pero se espera implementar en otras ciudades [22].
- Transporte público eléctrico en Colombia: El uso de buses y taxis eléctricos se destaca, tanto en la ciudad de Bogotá como en Medellín.
- Buses Eléctricos en Argentina: Tanto en Buenos Aires como en Mendoza se tiene buses eléctricos funcionando de manera continua.
- Electromovilidad en Ecuador: Se tiene 20 buses eléctricos para la ciudad de Guayaquil,

permitiendo un viaje más seguro, limpio y eficiente. Esta compra se realizó luego de pruebas piloto que resultaron de buena manera.

- MOVES, Electromovilidad en Uruguay: Se han implementado 54 taxis eléctricos en la ciudad de Montevideo, y se tienen contratos para la compra de buses eléctricos.
- Piloto de buses eléctricos en Bolivia: Si bien no existe una estrategia definida, ya se han realizado pilotos en la ciudad de La Paz, donde se movilizó a 46 mil pasajeros.
- Buses y taxis eléctricos en Perú: Se quiere implementar la electromovilidad en el corto plazo para el transporte público, aunque ya se han realizado pilotos en Lima, tanto de buses como de taxis.
- Piloto de buses eléctricos en Brasil: Existen proyecciones a largo plazo, donde la electromovilidad permita reducir la contaminación en grandes ciudades. En funcionamiento, se puede encontrar buses y taxis en varias ciudades.
- México y su transporte público eléctrico: Comenzaron la renovación en 2019, con el uso de trolebuses, además de que paulatinamente se introducen buses eléctricos. En la Ciudad de México existen vehículos eléctricos, funcionando como taxi, siendo una flota de 20 vehículos [21].

2.2 DAÑO A LA SALUD Y CO-BENEFICIOS

En esta sección se aborda el impacto en la salud pública de las emisiones de Material Particulado y Óxido de Nitrógeno provenientes del sector transporte, destacando la inequidad en la distribución de las emisiones. Se analizan las emisiones que provienen de escape y que no provienen de escape, además de los beneficios y co-beneficios de la electromovilidad, que considera mejoras en la calidad del aire y la salud de las personas.

2.2.1 INEQUIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES

Como se ha mencionado anteriormente, y según datos entregados por la OMS, alrededor del 99% de la población mundial se encuentra expuesta a la contaminación del aire, el cual supera los límites establecidos por la OMS; de este grupo, son aproximadamente 2.600 millones de personas que se encuentran expuestos a niveles peligrosos de contaminación, donde, además, se originan en torno a siete millones de defunciones prematuras. Cabe destacar que, dentro de los grupos más afectados, se encuentran aquellos de bajos y medios ingresos [33].

El Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023 señala que el 48% de las emisiones es producido por el 10% de la población con mayores ingresos, de las cuales dos tercios es de países desarrollados, mientras que solo el 12% de las emisiones proviene del 50% de la población de menos ingresos.

Es pertinente mencionar que casi el 80% de las emisiones de CO₂ proveniente de combustibles fósiles que se ha emitido en la historia, se originaron desde países del G20, siendo China, Estados Unidos y la Unión Europea los principales responsables. Dado lo anterior, se necesita que los países o regiones que más emisiones emiten, especialmente los pertenecientes al G20, establezcan

un mayor grado de compromiso con el Acuerdo de París, así como también se necesita que los países de mayores ingresos apoyen a los de bajos y medios ingresos, para lograr las metas propuestas [34].

En el *Informe las Naciones, El aire que respiramos: pasado, presente y futuro*, publicado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), se menciona que desde hace un par de décadas se sabe que existe una exposición diferenciada a la contaminación atmosférica, el impacto que pueden tener las políticas ambientales y el impacto que pueden ejercer los ciudadanos en el medioambiente, lo que afecta directamente sobre la calidad y estilo de vida de las personas en diversos ámbitos y etapas de su vida, así como también por la relación desigual asociada a los ingresos.

El *Informe las Naciones* publicó el resultado de un estudio realizado, donde se estudia la relación entre la concentración de emisiones, principalmente con la distribución de ingresos y nivel de estudios, donde se concluyó que en aquellas comunas donde hay mayor pobreza multidimensional, hay una exposición mayor de $MP_{2.5}$, de alrededor de $4,7 \text{ [ug/m}^3\text{]}$ por encima, comparadas con aquellas comunas con menor pobreza multidimensional.

Es importante destacar que aquellas comunas que presentan mayor proporción de población indígena e inmigrante se encuentran expuestas a $9,3 \text{ [ug/m}^3\text{]}$ de $MP_{2.5}$, por sobre aquellas comunas con menor población indígena e inmigrante.

Adicionalmente, entrega un resumen sobre la relación existente entre la contaminación atmosférica, mortalidad y morbilidad y los ingresos para diferentes comunas de la Región Metropolitana, lo cual se ve reflejado en la siguiente imagen:

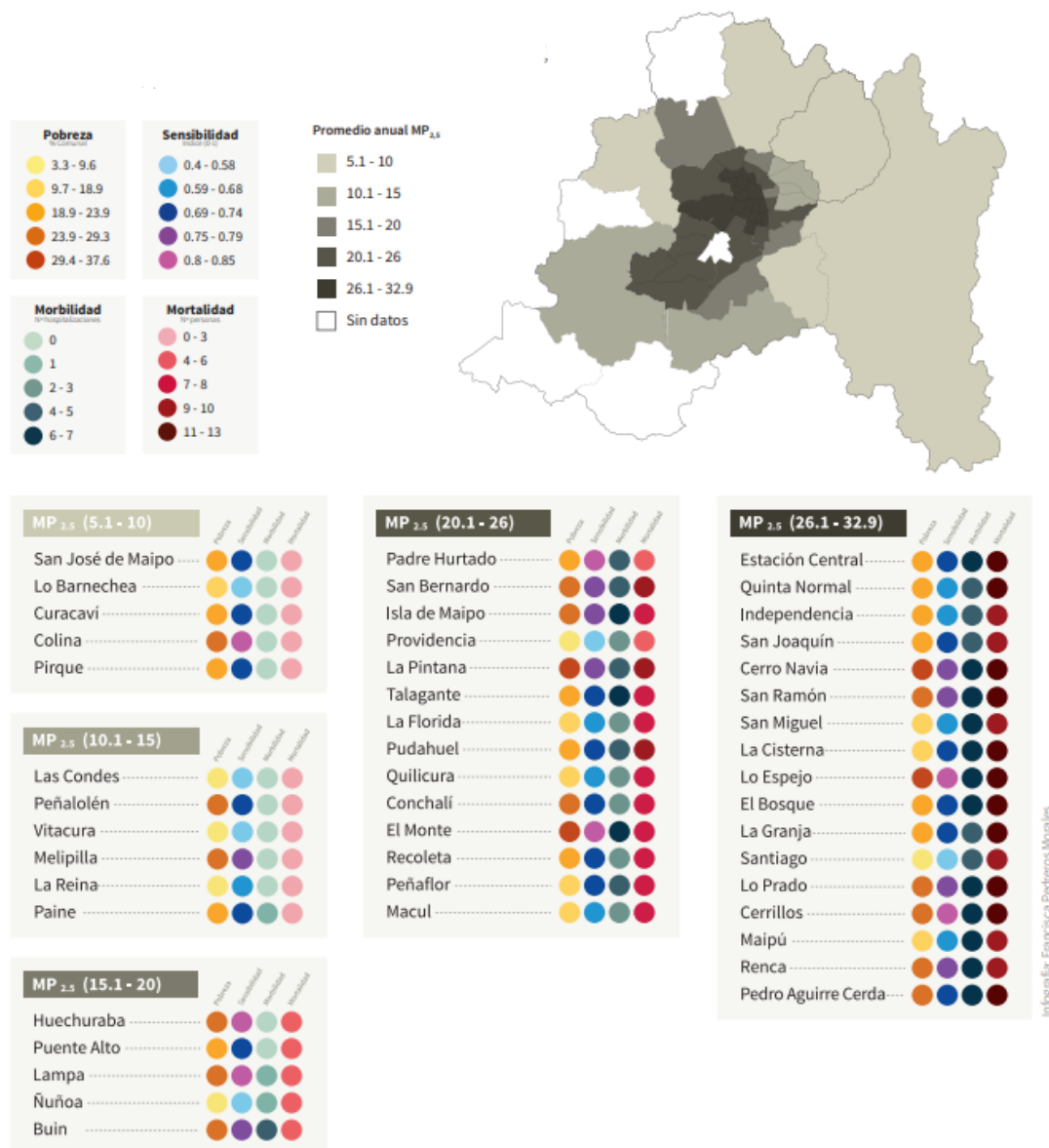


Imagen 16: $MP_{2.5}$ - Relación entre contaminación atmosférica, pobreza, sensibilidad, morbilidad y mortalidad en la Región Metropolitana [11]

Del informe y de esta imagen se desprende que, asociado a la concentración de $MP_{2.5}$, en el sector sur-poniente existe una mayor tasa de morbilidad, admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y mortalidad, lo cual además se relaciona con los menos ingresos de dicho sector. También se señala que son los sectores poniente pericentral norte, nor-poniente y poniente donde se supera el umbral de emisiones recomendado por la OMS ($20 \mu g/m^3$), junto con una alta sensibilidad [11].

2.2.2 DAÑO A LA SALUD POR LAS EMISIONES DEL SECTOR TRANSPORTE

El Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR2) en el *Informe a las Naciones*, evalúa el impacto en la salud de la población ante la exposición a $MP_{2.5}$ en la ciudad. Para ello, se consideraron 3 factores: población expuesta, eventos de salud ocurridos en un año y la

concentración promedio diaria y anual de $MP_{2.5}$. Con esta información se utilizó la Función Dosis Respuesta que relaciona el aumento de la concentración de $MP_{2.5}$ con la morbilidad y mortalidad. Se tomó como base el año 2016, una población de 12.656.855 personas en 180 comunas del centro y sur de Chile y 69.347 muertes por causas naturales. De esta cifra, se estimó que aproximadamente 4.590 de ellas podrían haberse evitado si se cumpliera la recomendación de la OMS.

Comparando los resultados anteriores con el Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente del 2019, el cual registra 3.640 muertes de personas mayores a 30 años asociadas a $MP_{2.5}$, se evitarían 2.564 muertes si se cumpliera la recomendación de la OMS. Considerando las admisiones hospitalarias de personas de todas las edades, y una recomendación máxima de $25 \mu g/m^3$ en 24 hrs, se podría haber evitado cerca de 3.007 de ellas. Esta información y más, se puede ver reflejada con mayor claridad en la siguiente imagen:



Imagen 17: Muertes y Hospitalizaciones evitables según la recomendación de la OMS y el estándar nacional [11]

2.2.3 EMISIONES QUE PROVIENEN DE ESCAPE Y QUE NO PROVIENEN DE ESCAPE

Todo lo que se ha descrito hasta ahora hace referencia a aquellas problemáticas provenientes a las emisiones que se producen directamente por la combustión interna de los vehículos. Cabe destacar que además de lo ya mencionado, todo tipo de vehículos genera emisiones no provenientes del tubo de escape, o también llamadas “non exhaust emissions”.

Las emisiones que provienen de escape (Exhaust Emissions – EE), son aquellas que se producen por la combustión de combustible, como gasolina o diésel; este proceso depende de diversos factores, como las condiciones en las que se encuentre el vehículo y el funcionamiento de este. Las emisiones de escape pueden ser de Material Particulado 2.5, Material Particulado 10, Óxido de Nitrógeno, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Hidrocarburos o Dióxido de Azufre [35].

Por otro lado, tenemos las emisiones que no provienen de escape (Non Exhaust Emissions – NEE), que son aquellas que provienen del desgaste de los frenos, neumáticos y superficie y re-suspensión del polvo del pavimento. Este tipo de emisiones son de Material Particulado 2.5 y de Material Particulado 10. Estas emisiones representan entre el 60% y el 73% de las emisiones de Material Particulado del transporte terrestre [36].

Las actuales políticas públicas, tanto en Chile como en el resto del mundo, que buscan reducir las emisiones provenientes del sector transporte, tienen principal foco en las emisiones provenientes de escape, ya que buscan limitar el uso de combustibles fósiles e implementar vehículos de energía limpia, mas no hay alguna que regule o limite las emisiones que no provienen de escape, por lo cual, las emisiones que no provienen de escape han ido aumentando su proporción en las emisiones totales. Al estudiar la literatura, podemos evidenciar que existen numerosos estudios sobre las emisiones que provienen de escape, los cuales nos muestran las externalidades que traen consigo, pero sobre las emisiones que no provienen de escape, son muy escasos [37].

Si bien se han realizado estudios para saber más sobre este tipo de emisiones, los estudios toxicológicos y epidemiológicos para esta área no son los suficientes para poder entregar información sobre su efecto en la salud de la población, si afectan en mayor o menor proporción o incluso si afectan de una manera distinta a las emisiones que provienen de la combustión interna; esto se debe a que no se ha logrado diferenciar los efectos de cada una de estas emisiones dada su dispersión espacial. Se ha demostrado que este tipo de emisiones son mayores en proporción dado que no hay regulaciones en este ámbito [38].

Cabe destacar que los vehículos eléctricos serían capaces de generar aún más emisiones que no provienen de escape debido al peso que tienen en comparación a un vehículo de combustión interna, lo que podría provocar que no exista reducción significativa de las emisiones de Material Particulado [39].

2.2.4 BENEFICIOS Y CO-BENEFICIOS DE LA ELECTROMOVILIDAD

La Electromovilidad tiene diversos tipos de beneficios, que son resultado directo y positivo de su implementación, los cuales van desde la calidad del aire, hasta la disminución de la contaminación acústica.

Con respecto a los beneficios en la calidad del aire, se tiene que, los vehículos eléctricos no producen emisiones de escape ni de gases ni de partículas mientras están en marcha, como lo hacen los vehículos de combustión interna. En Chile hay 12 ciudades que sobrepasan el valor norma de Material Particulado, siendo el transporte uno de los principales responsables. Si se mejora la calidad del aire, se mejora la calidad de vida de las personas, por sobre todo en aquellas personas infanto-juvenil y adultos mayores que tienen enfermedades respiratorias. Además, al no utilizar

combustible fósil, ayuda a combatir el cambio climático.

Los vehículos eléctricos al no requerir lubricantes ni filtros reducen el manejo de residuos peligrosos. Los frenos sufren menor desgaste, ya que tienen un sistema regenerativo. Las baterías luego de cumplir su ciclo en el vehículo (8 a 10 años) pueden reutilizarse en aplicaciones estacionarias (10 a 15 años) y luego reciclarse. Con respecto a la eficiencia del combustible, gastan la quinta parte de lo que gasta un vehículo a combustión interna, ya que su motor tiene una eficiencia superior a un 95%, permitiendo un ahorro económico. Así mismo, es pertinente destacar que estos vehículos casi no emiten ruido, siendo este punto más relevante en vehículos pesados o en masa que operan sobre los 50 [km/h] [40].

La electromovilidad no solo ofrece beneficios directos, si no también co-beneficios, los cuales son una consecuencia indirecta de su implementación.

La Electromovilidad contribuye a ciudades inteligentes, apuntando hacia un desarrollo sostenible, buscando la eficiencia energética y la reducción de emisiones de CO₂, a la vez que el desarrollo económico y el cuidado del medioambiente. Han aparecido soluciones como la conducción (semi) automática, re-ruteos, conectividad de flotas y un gran potencial de soluciones que apunten a una movilidad más eficiente y segura. Se espera que para el 2050 la participación de la generación con energías renovables supere el 70% de la matriz y un 40% de los vehículos livianos con Electromovilidad, permitiendo así, una diversificación energética. Con esto se espera generar 11 millones de toneladas menos de CO₂, disminuyendo el gasto energético del país en US\$3300 millones, cerca del 1,5% del PIB en Chile del 2016 [40].

Como este tipo de vehículos utilizan electricidad, se reduce la dependencia de los combustibles fósiles, lo cual reduce los costos de operación, por lo que la carga del estanco tendría un costo más conveniente para la población, pese a su costo inicial más elevado. Finalmente, se puede destacar que los vehículos eléctricos tienen un mayor tiempo de duración, en comparación a un vehículo tradicional de combustión interna [41].

Otro punto importante que mencionar es que el vehículo eléctrico tiende a ser más seguro por dos puntos, primero porque su centro de gravedad es más bajo, por lo que el riesgo y las probabilidades de volcar el vehículo es mucho más bajo, y segundo, porque al no utilizar combustible el riesgo de incendio es mucho más bajo [42]

Como antecedente adicional, con respecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), encontramos algunos que tienen relación con el desarrollo de Energías limpias, así como del cuidado del medio ambiente en general, para la mantención de la vida en el planeta.

Los beneficios y co-beneficios mencionados son debido a la reducción que se genera de Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno, ya que son directamente asociados a ello [43].

2.3 VALORACIÓN DE DAÑO

Ahora que se conocen los beneficios asociados a la reducción de emisiones de contaminantes criterio, principalmente asociados a la implementación de la electromovilidad, es necesario realizar

la valoración del daño. Esta es la etapa final y una de las más importantes al momento de realizar un análisis de costo-beneficio, también conocido como ACB. En esta etapa se busca *estimar los efectos en términos monetarios*. Este tipo de análisis trae consigo 2 grandes dificultades: valorar los beneficios en salud y valorar los efectos en la calidad ambiental. Estas valoraciones son con respecto a los beneficios y co-beneficios como los mencionados anteriormente [44]. La valoración tiene como objetivo *medir la preferencia o utilidad por bienes y servicios ambientales* [45].

Para realizar la valoración, se deben asumir los siguientes supuestos:

- El bienestar individual puede ser medido, incluso aquel que tiene costo cero o costo muy bajo.
- Los individuos maximizan su bienestar, donde según su restricción presupuestaria, eligen la mejor combinación bien – servicio – ahorro.
- El bienestar social es la suma del bienestar individual, y es igual al excedente del consumidor.
- El bienestar generado por bienes y servicios normalmente es decreciente [45].

Existen variadas metodologías de valoración, las cuales se clasifican según sus características como: Demanda – No Demanda y Directos – Indirectos. Los métodos clasificados como Demanda – No Demanda, consideran, como dice su nombre, si es posible o no estimar la demanda o curva de demanda; En caso de ser posible, se utilizan métodos que estiman la disposición a pagar; si no es posible, se utilizan métodos que permiten obtener información para la toma de decisiones de política. Los métodos Directos – Indirectos consideran la información monetaria, la cual de estar disponible se utiliza la Disposición a Pagar, o si deben ser valorados posteriormente, que utilizan la Valoración Contingente [45].

De manera más detallada, la siguiente imagen presenta una representación de estos métodos de evaluación monetaria por enfoques con y sin curva de demanda:

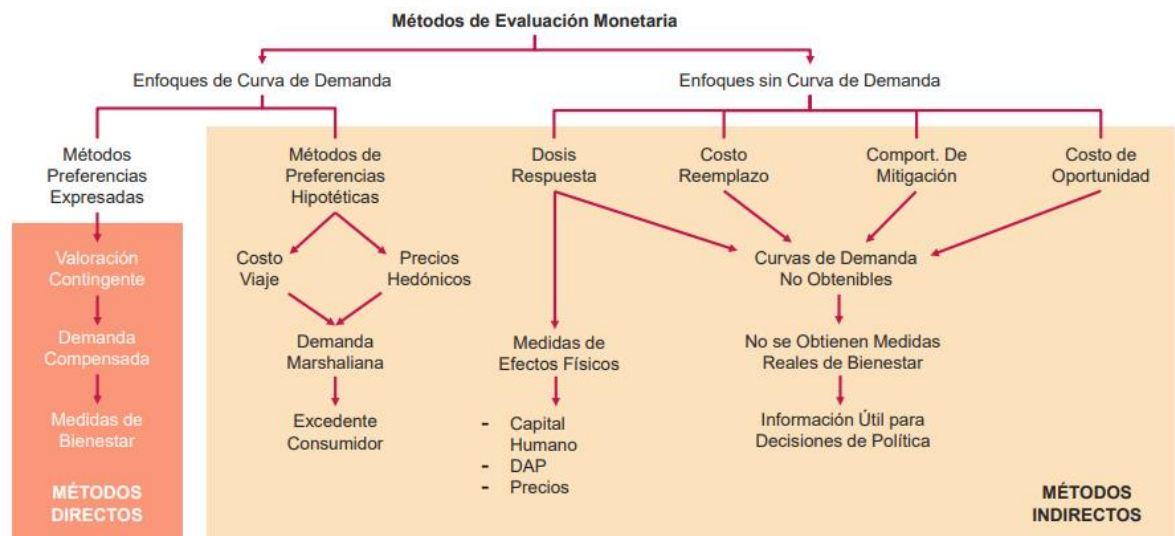


Imagen 17: Métodos directos e indirectos de evaluación monetaria [46]

Para comprender de mejor manera cada método, se detallan a continuación:

- Valoración de efectos físicos/dosis respuesta

- Se basa en una valoración a través de cómo el cambio ambiental provoca un cambio físico, ya sea en la salud de las personas, animales, plantas y/o ecosistemas.
- Este método, identifica la relación entre la concentración del contaminante y el efecto físico causado, para lo cual utiliza estudios epidemiológicos y toxicológicos. Estos efectos se pueden valorar con las siguientes técnicas:
 - Capital humano: Corresponde al valor del individuo, su productividad laboral media por sus ingresos provenientes del trabajo. El valor de una muerte se considera como el valor presente descontado de los ingresos futuros y el valor de la morbilidad se estima mediante el valor presente de la pérdida de productividad.
 - Gastos médicos: Corresponde a los gastos en los que se incurren para disminuir los síntomas o riesgos de la enfermedad.
 - Costo enfermedad: Corresponde a la suma de Capital Humano y Gastos Médicos.
 - Disposición a pagar: Corresponde a lo que están dispuestos a pagar los individuos con la finalidad de reducir los riesgos en salud, ya sea costo de tratamiento, productividad perdida y pérdida de bienestar.
- A su vez, si consideramos el efecto medio ambiental, relaciona los recursos e insumos ambientales, como aire, agua o suelo y el daño causado en la producción en los recursos forestales, marinos y en la agricultura, los cuales son valorados con precios de mercado, o precios sombra.
- Para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), usa la siguiente metodología:

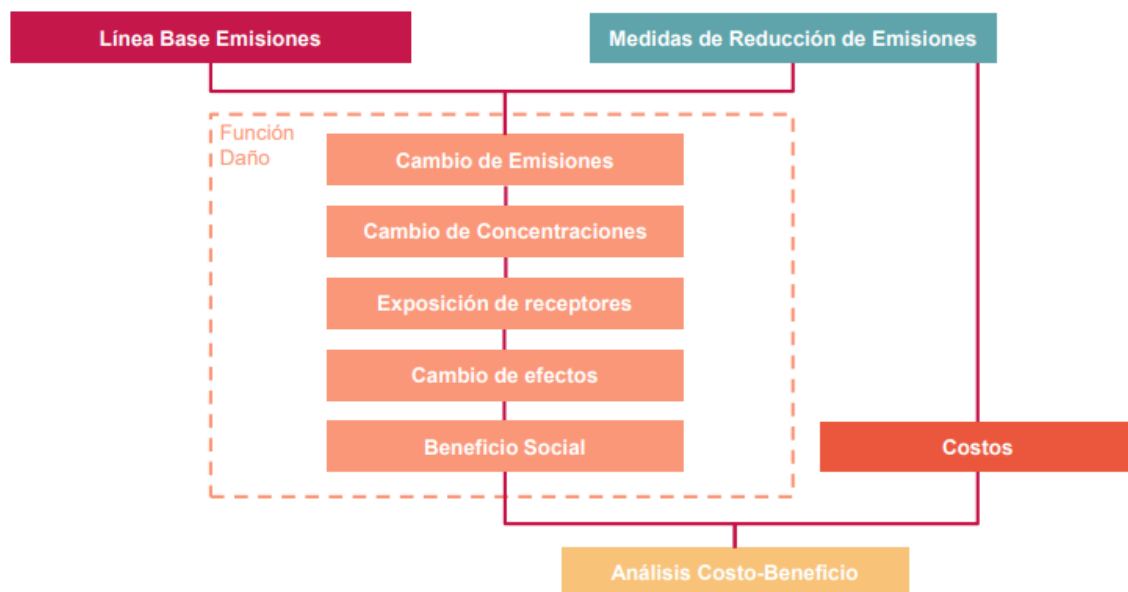


Imagen 19: Metodología para la elaboración de un AGIES [46].

- Valoración Contingente

- Este método intenta responder a las interrogantes de:
 - ¿Cuánto está dispuesto a pagar (o aceptar) un individuo por evitar enfermarse por contaminación?
 - ¿Cómo determinar la pérdida de bienestar que sufre el individuo, cuando por la mañana la contaminación le impide ver tanpreciado bien?

- ¿Cómo lograr que el individuo revele su verdadera valoración por ese servicio?
 - Para realizar este tipo de valoración, se realizan tres etapas: Selección de la muestra de estudio, Diseño de la encuesta adecuada para la muestra y Análisis de Resultados.
 - Con respecto a su estructura, lo primero es obtener la información con respecto al problema, el cual debe evaluar de buena manera la valoración que tiene el individuo por el bien o servicio, como calidad, accesibilidad, etc.; segundo, se propone un cambio en este bien o servicio en el bienestar del individuo, con lo cual se busca averiguar la disposición a pagar (DAP) o a aceptar (DAC); y tercero, chequear el nivel socioeconómico para corroborar las respuestas anteriores [46].
- Preferencia Revelada: Costo de Viaje
 - Este método considera los gastos en los que las personas incurren, tales como costo de viaje, tiempo, equipamiento o entrada, es decir, solo valores de uso.
 - Para realizar la valoración, se determina un sitio en específico, desde el cual encuestan a los visitantes consultando lugar de origen, frecuencia de visita a dicho lugar o similares, duración del viaje, etc. Con esto se determina la tasa de visitas y finalmente el costo de viaje de manera monetaria [46].
 - Preferencia Revelada: Precios Hedónicos
 - Esta metodología se basa en el valor que tiene para los individuos, la calidad ambiental. Esto considera, por ejemplo, cercanía a áreas verdes, calidad del agua, entre otros [46].
 - Enfoque de Costos
 - Costo de oportunidad: Se usa para aquello que no tiene valor de mercado, por lo que estima el ingreso que deja de recibirse por darle un uso en vez de otro.
 - Costo de reemplazo/restauración: Son los gastos en los que se incurre para reubicar o reemplazar un activo productivo que esta o estará siendo dañado por determinado proyecto.
 - Gasto preventivo: Es el gasto en el que se incurre para evitar determinado daño, que pueden ser preventivos o mitigatorios [46].
 - Función de Transferencia
 - Método que se utiliza cuando no existen los valores o estimaciones en un determinado país, por lo que se utilizan estudios similares de otros países. Asume que las preferencias entre ambos países son las mismas, y relaciona el ingreso de ambos países, la elasticidad y la disposición a pagar [46].

En la literatura chilena se encuentran diferentes estudios, por distintos autores, donde se realizan valoraciones de daño.

El texto “*Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean*”, escrito por Luis A. Cifuentes, Alan J. Krupnick, Raúl O’Ryan y Michael A. Toman, menciona que la valoración puede realizarse de dos maneras: la primera es aquella que se enfoca en desembolso monetario y/o compensación económica, llamado Enfoque del Costo Enfermedad (COI, por sus siglas en inglés) y el segundo, enfocado en conocer y establecer medidas para saber a qué está dispuesta la población a renunciar para mejorar su salud, como lo es la disposición a pagar (WPT, por sus siglas en inglés). En este documento se menciona que se realizó una investigación para

saber qué valores es pertinente utilizar, según la disponibilidad en la literatura por tipo de daño (mortalidad, morbilidad o productividad perdida), por lo cual se analizaron diferentes países latinoamericanos, principalmente de México, Brasil, Argentina y Chile. Como no todos los valores encontrados fueron estimados de manera local, se utiliza una ecuación que relaciona el valor de valoración de dicho país, su IPC, el IPC del país al que se busca transferir el valor y la elasticidad del ingreso de la demanda de salud. Adicionalmente, se muestra una tabla con los valores de factor de transferencia y valores de Valoración Estadística de Vida (VSL), según sea transferido desde Latinoamérica o Estados Unidos [47]

El documento “*Comparing the net benefits of incentive based and command and control regulations in a developing context: the case of Santiago, Chile*”, escrito por Raúl O’Ryan y José Miguel Sánchez, destaca que no existen suficientes documentos confiables en Chile que señalen la disposición a pagar para reducir la mortalidad, por lo que es necesario, al igual que en el caso anterior, utilizar valores de vida estadística de estudios internacionales, y luego ajustarlos a Chile según el PIB. Se mencionan tres enfoques de valoración: primero la valoración contingente, la cual obtiene mediante encuestas, el precio que la población está dispuesto a pagar para obtener beneficios ambientales; segundo, un enfoque de diferencia salarial, que se enfoca en evaluar y analizar cómo los trabajos mejor remunerados, compensan el mayor riesgo laboral; y tercero, el enfoque de capital humano, que evalúa los ingresos futuros del individuo, en caso de no ocurrir su muerte prematura, lo cual se reduce a darle un valor económico a la vida humana, según su productividad y potencial ingreso. Así mismo, se menciona que los valores utilizados para este estudio, fue seleccionando el promedio más bajo de los valores de vida estadística de 13 estudios seleccionados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) [48].

El documento “*Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile*”, escrito por Marcelo Mena-Carrasco, Estefanía Oliva, Pablo Saide, Scott N. Spak, Cristóbal de la Maza, Mauricio Osses, Sebastián Tolvett, J. Elliott Campbell, Tsao es Chi-Chung Tsao y Luisa T. Molina, utiliza el método de valoración llamado Disposición a Pagar (WTP), basado en lo que las personas están dispuestas a pagar; además, utiliza la transferencia de valores, obtenidos desde la EPA de Estados Unidos. Es importante mencionar que el Ministerio del Medio Ambiente de Chile prefiere utilizar valores establecidos de manera local, para así, poder considerar de mejor manera las condiciones económicas y sociales del país, logrando que sea una valoración más precisa [49].

En síntesis, en Chile existen diversas técnicas y metodologías de valoración económica de impactos ambientales y de salud por contaminación del aire, siendo los principales el enfoque Costo de Enfermedad (COI) y la Disposición a Pagar (WTP), los cuales usan valores internacionales ajustados con valores como el PIB y el IPC. Otros métodos utilizados son la valoración contingente, que considera la disposición a pagar o aceptar como compensación por la mejora estipulada. No obstante, una de las metodologías más utilizadas en Chile para la elaboración de normas de calidad ambiental es el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), dado que permite evaluar costos y beneficios económicos y sociales de políticas y proyectos ambientales, permitiendo una visión más amplia del estudio.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La implementación de la propuesta de Electromovilidad en Chile para avanzar en la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) permite importantes co-beneficios en términos de salud al reducir las emisiones de $MP_{2.5}$ y NO_x . A pesar de las reducciones de las emisiones de escape, los co-beneficios se ven mermados por la mantención de las emisiones que no provienen de escape. Además, estos co-beneficios impactan de manera diferente a diferentes grupos, diferenciados por su índice de prioridad social.

OBJETIVO GENERAL

Cuantificar y valorar los co-beneficios en salud en la Región Metropolitana, como resultado de implementar la Estrategia de Electromovilidad propuesta por el Estado de Chile, considerando emisiones que provienen de escape y emisiones que no provienen de escape. Además, proponer políticas públicas complementarias que permitan maximizar los co-beneficios, en especial para las comunas con alta prioridad social.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a nivel comunal en la Región Metropolitana las diferencias en concentración que se espera lograr en $MP_{2.5}$ y NO_x con la Estrategia de Electromovilidad.
- Cuantificar la reducción anual en mortalidad y morbilidad asociado a la mejora esperada en la calidad del aire de la Región Metropolitana entre 2020 y 2050, a nivel comunal.
- Valorar los co-beneficios en salud de la Estrategia de Electromovilidad, distinguiendo por comuna.

4. METODOLOGÍA

El plan de trabajo para la presente investigación se basa en analizar el impacto salud que tiene la implementación de la Electromovilidad en Chile, así como los co-beneficios que tendrá. El análisis se hará mediante escenarios, donde principalmente se valorará el daño causado por las emisiones de Material Particulado y precursores de Material Particulado.

Se trata de una investigación de tipo cualitativa y cuantitativa, mas no experimental. Con ella, se busca cuantificar y valorar los co-beneficios para la salud que tiene la reducción de emisiones de Material Particulado y precursores de Material Particulado a través de vehículos cero emisiones. A lo largo de esta investigación se analiza por escenarios la situación la Región Metropolitana de Chile, la cual concentra gran parte de la población del país. Los escenarios contarán con un análisis de co-beneficios ambientales, especialmente cómo afecta sobre la salud de las personas.

Para iniciar la investigación se realizó una revisión de literatura para conocer sobre el estado actual del medio ambiente en el planeta, las principales fuentes de contaminación y los contaminantes que más daño causan al medio ambiente, junto con los efectos que causa, a la salud de las personas, su concentración en la atmósfera. Con esta información, se puso foco en el área del transporte, investigando lo que es la Electromovilidad, el impacto que tiene, las aplicaciones que se han llevado a cabo y cómo han afectado e influido en el resto del mundo.

Posterior a la revisión de literatura, se deben identificar los tipos de contaminantes principales que emiten los vehículos de combustión interna, así como los daños que los mismos causan. Obtenida esta información, se procede a la realización de estas cinco etapas:

1. Recopilar datos de emisiones de Material Particulado y su precursor, entre 2020 y 2050.
2. Determinar los diferenciales de emisiones.
3. Calcular los diferenciales de concentración de ambos escenarios.
4. Calcular los co-beneficios esperados en salud, con la función de daños (dosis respuesta). Con esto se evidencia el diferencial en la mortalidad y morbilidad. Se relacionan los diferenciales de emisión y la concentración, junto con las mejoras en salud.
5. Valorar económicamente las mejoras en salud.
6. Realizar un análisis y recomendaciones en base a los resultados.

La metodología general se basa en la investigación colaborativa multidisciplinaria entre la Universidad Técnica Federico Santa María y la Universidad Adolfo Ibáñez, para la implementación del Gas Natural. Este proyecto fue realizado de manera exitosa, buscando información con respecto a una nueva fuente de energía, la cuál es equivalente a este proyecto [50]. Además, incluye un Análisis General De Impacto Económico Y Social, o metodología AGIES, implementado por el Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile, para el Material Particulado (MP₁₀) [51]. El método AGIES, es un método de dosis respuesta, donde existe un enfoque en la función de daños en salud. Dado esto, se utilizará como lo utiliza el Estado de Chile en sus informes.

A continuación, se presentan las metodologías específicas aplicadas a cada etapa del estudio:

4.1 ESTIMACIÓN DE EMISIONES

El cálculo de emisiones de Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno para cuatro tipos de vehículos, Bus, Camión, Taxi y Vehículo Liviano de Pasajeros, se presenta en tres escenarios distintos, basados en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) planteada por el gobierno de Chile, los cuales fueron llamados NDC-, NDC y NDC+, siendo NDC- menos estricto y NDC+ más estricto que la normativa del gobierno de Chile.

Para realizar estos cálculos se utiliza como variables principales el número de vehículos, el consumo de combustible según el tipo de vehículo y factores emisión del programa COPERT 5, adaptados a las condiciones locales. Al resultado obtenido se le aplicó una dispersión por comuna en la Región Metropolitana, obteniendo el resultado final. El siguiente diagrama, considerando solo hasta el cálculo de factor de emisiones y emisiones anuales, resume los pasos de cálculo [53]:

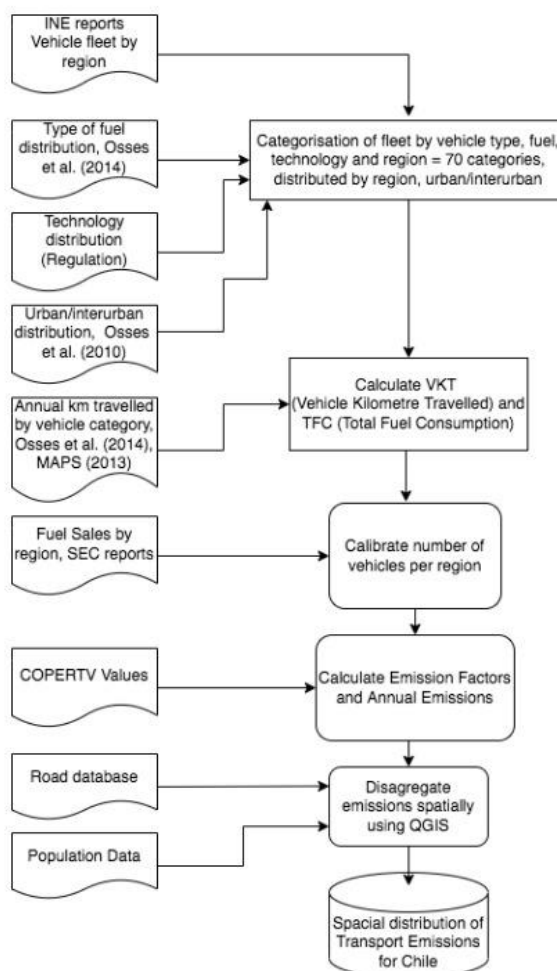


Imagen 20: Metodología del cálculo de emisiones [53]

Las emisiones de Material Particulado 2.5 se dividieron según su origen en el sector transporte: provenientes de tubo de escape (Exhaust Emissions – EE) y emisiones que no provienen de tubo de escape (Non Exhaust Emissions - NEE). Estas últimas además se dividen en emisiones de superficie (Surface emissions) y emisiones de regeneración de frenos (Breaktyre Emissions). Cada

una de estas categorías fueron divididas en los escenarios planteados anteriormente, NDC-, NDC y NDC+, y consideran las siguientes medidas:

Cabe destacar que estos cálculos fueron realizados y entregados por Mauricio Osses Alvarado, académico del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, junto con su equipo de trabajo.

Escenario	Periodo	
	2020-2035	2035-2050
NDC	- Electrificación lineal de VLP, VLC desde 0% hasta un 14,5% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de TAX y BUS desde 0% hasta un 31,5% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de CAM desde 0% hasta un 21,25% de la flota el 2035	- Electrificación exponencial de VLP, VLC desde 14,5% hasta un 58% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de TAX y BUS desde 31,5% hasta un 100% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de CAM desde 21,25% hasta un 85% de la flota el 2050
NDC+	- Disminución lineal de VKT desde 0% a un 5% el 2035 - Electrificación lineal de VLP, VLC desde 0% hasta un 16,25% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de TAX y BUS desde 0% hasta un 45% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de CAM desde 0% hasta un 21,25% de la flota el 2035	- Disminución exponencial de VKT desde 5% a un 20% el 2050 - Electrificación exponencial de VLP, VLC desde 16,25% hasta un 65% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de TAX y BUS desde 45% hasta un 100% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de CAM desde 21,25% hasta un 85% de la flota el 2050
NDC-	- Electrificación lineal de VLP, VLC desde 0% hasta un 11,25% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de TAX y BUS desde 0% hasta un 31,5% de la flota el 2035 - Electrificación lineal de CAM desde 0% hasta un 5% de la flota el 2035	- Electrificación exponencial de VLP, VLC desde 11,25% hasta un 45% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de TAX y BUS desde 31,5% hasta un 70% de la flota el 2050 - Electrificación exponencial de CAM desde 5% hasta un 25% de la flota el 2050

Tabla 1: Descripción de escenarios de emisiones

4.2 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE EMISIONES

El cálculo del diferencial de emisiones se utilizan primero los escenarios NDC- y NDC, y luego NDC y NDC+.

$$\Delta E_i^t = E_{i2}^t - E_{i1}^t$$

Ecuación 1: Diferencial de emisiones

Donde,

- ΔE_i^t : Cambio en la emisión del contaminante primario i en el año t [ton]
- E_{i1}^t : Emisión del contaminante primario i en el año t [ton] en el escenario 1

- E_{i2}^t : Emisión del contaminante primario i en el año t [ton] en el escenario 2

Para ambos casos, E_{i2}^t toma los valores del escenario NDC. Desde ahora, los resultados que consideren el diferencial de emisiones entre NDC- y NDC se le llamará “escenario bajo”, mientras que los resultados que consideren el diferencial de emisiones entre NDC y NDC+ se le llamará “escenario alto”.

4.3 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE CONCENTRACIONES

El cálculo del diferencial de concentraciones se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta C_i^t = \sum \frac{\Delta E_i^t}{FEC_i^t}$$

Ecuación 2: Diferencial de concentraciones [44]

Donde,

- ΔC_i^t : Cambio de la concentración del contaminante primario i (MP_{2.5}, NO_x) en el año t [μg MP_{2.5} / m³]
- ΔE_i^t : Cambio en la emisión del contaminante primario i en el año t [ton]
- FEC_i^t : Relación emisión concentración para el contaminante primario i en el año t [ton / (μg MP_{2.5} / m³)]

Los valores utilizados para FEC_i^t se encuentran en el anexo n°2, tabla n°11.

4.4 CÁLCULO DEL DIFERENCIAL DE EFECTOS

El cambio en el número de efectos está dado por la siguiente fórmula:

$$\Delta Efecto_{jp} \approx \sum_{a=1}^n \beta_{ji} * \Delta C_i * Pop_{pij} * IR_{jp}$$

Ecuación 3: Cambio en el número de efectos [52]

Donde,

- $\Delta Efecto_{jp}$: Cambio en el número de efectos j dado el cambio de concentraciones del contaminante i [$(\mu\text{g} / \text{m}^3)^{-1}$]
- β_{ji} : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j del contaminante i [$(\mu\text{g} / \text{m}^3)^{-1}$]
- ΔC_i : Cambio en la concentración del contaminante i en la ubicación a [$\mu\text{g} / \text{m}^3$]
- Pop_j : Población p expuesta al contaminante i que puede sufrir el efecto en salud j [habitantes]
- IR_{jp} : Tasa de incidencia base del efecto j en la población p [casos / habitantes-año]

Los valores utilizados para β_{ji} y IR_{jp} se encuentran en el anexo n°2: tabla n°12 y tabla n°13, respectivamente.

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) publicó en 2017 las “*Estimaciones y proyecciones 2002 - 2035 comuna y área urbana y rural*”, donde se encuentra la proyección de la población para los años 2020 al 2035 para cada comuna del país, según rango etario [66]. Para la proyección de población entre 2036 y 2050, se utilizó la “*tasa anual de crecimiento de la población total, según grupos de edad*” publicada por la CEPAL [67] y mediante la ecuación:

$$Pop_{t+1} = Pop_t * (1 + r)$$

Ecuación 4: Proyección de Población [68]

Donde,

- Pop_{t+1} : Población proyectada para el año siguiente
- Pop_t : Población del año actual
- r : Tasa de crecimiento anual, en decimales

Los valores utilizados para Pop_j se encuentran en el anexo n°3: tabla n°15.

4.5 CÁLCULO DE BENEFICIOS ECONÓMICOS

Los beneficios (valoración) obtenidos están dados por la siguiente fórmula:

$$Beneficio_{pi} = \sum_j \Delta Efecto_{jp} * VU_j$$

Ecuación 5: Beneficios [52]

Donde,

- $Beneficio_p$: Beneficio de la reducción en la concentración del contaminante i
- $\Delta Efecto_{jp}$: Cambio en el número de efectos j dado el cambio de concentraciones del contaminante i $[(\mu\text{g} / \text{m}^3)^{-1}]$
- VU_j : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF / caso]

Los valores utilizados para VU_j se encuentran en el anexo n°2, tabla n°14.

Esta metodología, además de ser aplicada por tipo de contaminante ($MP_{2.5}$ y NO_x), fue realizada a nivel comunal en la Región Metropolitana, así como también por modo vehicular.

4.6 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS

Según el informe Índice de Prioridad Social de Comunas 2024, publicado por el SEREMI de Desarrollo Social y Familia Metropolitana, las comunas con alta prioridad social (mayor IPS) son La Pintana, Lo Espejo, Cerro Navia, María Pinto y San Ramón. Por otro lado, las comunas sin prioridad social (menor IPS) son Ñuñoa, Lo Barnechea, Providencia, Las Condes y Vitacura [65]. Para estas comunas, se realizó una comparación (más prioritarias versus sin prioridad) de los co-beneficios en mortalidad por causas cardiopulmonar en el largo plazo, calculados para el escenario bajo, así como para el escenario alto, considerando tanto emisiones provenientes de escape, como

aquellas que no provienen de escape.

De manera similar, para modo vehicular (Bus, Camión, Taxi y Vehículo Liviano de Pasajeros) se realizó una comparación de los co-beneficios en mortalidad por causas cardiopulmonar en el largo plazo, calculados para el escenario bajo, así como para el escenario alto, considerando tanto emisiones provenientes de escape, como aquellas que no provienen de escape.

Una vez obtenidos los resultados de efectos y valoración, se debe realizar una serie de preguntas: ¿Cuánto tiempo tomará?; Si la reducción de emisiones nos lleva a la reducción de concentración, ¿cómo mejora la calidad del aire?, ¿cómo cambia en el efecto provocado en salud? Habiendo respondido estas preguntas, se procede a realizar una recomendación de políticas públicas.

5. RESULTADOS: CO BENEFICIOS DE LA ESTRATEGIA DE ELECTROMOVILIDAD EN LA REGIÓN METROPOLITANA

En este capítulo, se presentan, en primera instancia, las emisiones de Material Particulado 2.5 y de Óxido de Nitrógeno utilizadas para los cálculos posteriores, así como también las emisiones según modo vehicular. Luego se presentan los co-beneficios en salud por escenario y por tipo de emisión. Además, se presenta esta misma información según modo vehicular e índice de prioridad social comunal. Finalmente se presentan los resultados de valoración para los casos mencionados.

5.1 EMISIONES PARA CÁLCULOS

5.1.1 EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO 2.5 Y ÓXIDO DE NITRÓGENO

Las emisiones de Material Particulado 2.5 que provienen de escape, utilizadas para los cálculos fueron:

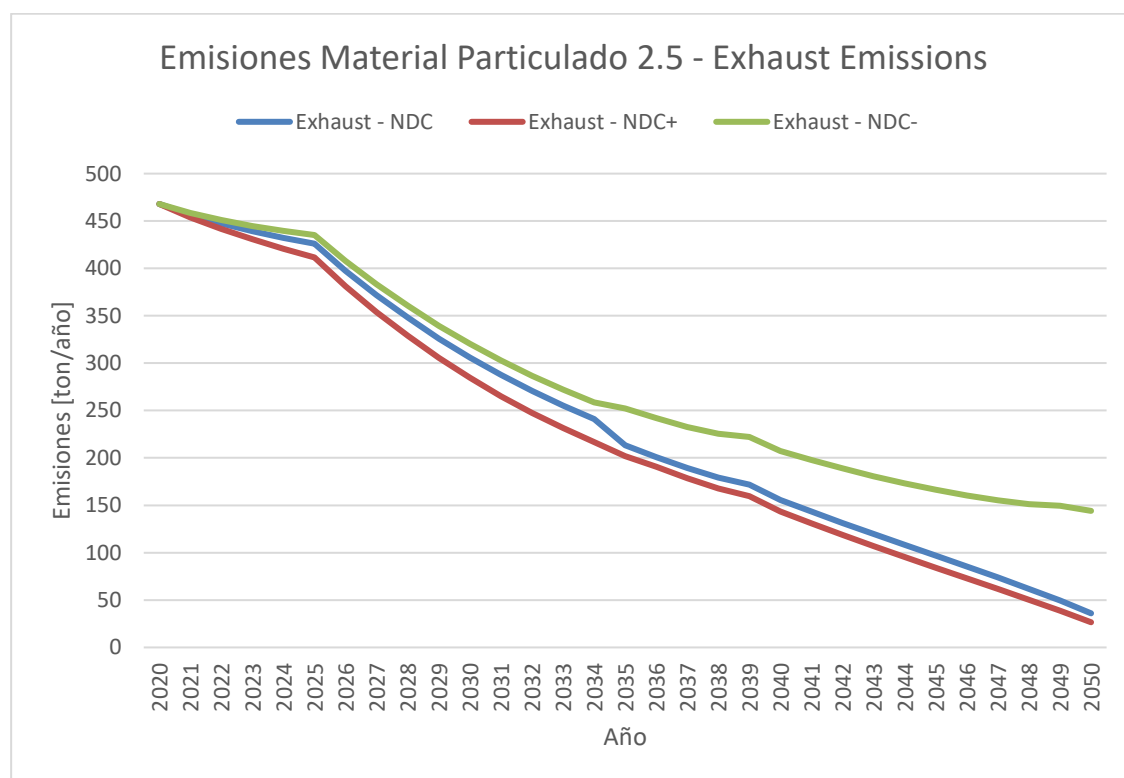


Gráfico 1: Emisiones de Material Particulado 2.5 – Exhaust Emissions [Elaboración Propia]

En este gráfico se observa una disminución de las emisiones en el periodo 2020-2050 para los tres escenarios planteados, siendo el escenario NDC- donde existe una menor disminución de emisiones, las cuales pasan de 467,99 toneladas en 2020 a 144,12 toneladas en 2050, mientras que las emisiones del escenario NDC+ pasan de 467,99 toneladas en 2020 a 26,56 toneladas en 2050.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 que provienen de superficie y de freno (ambas consideradas como Non Exhaust Emissions), utilizadas para los cálculos, respectivamente, fueron:

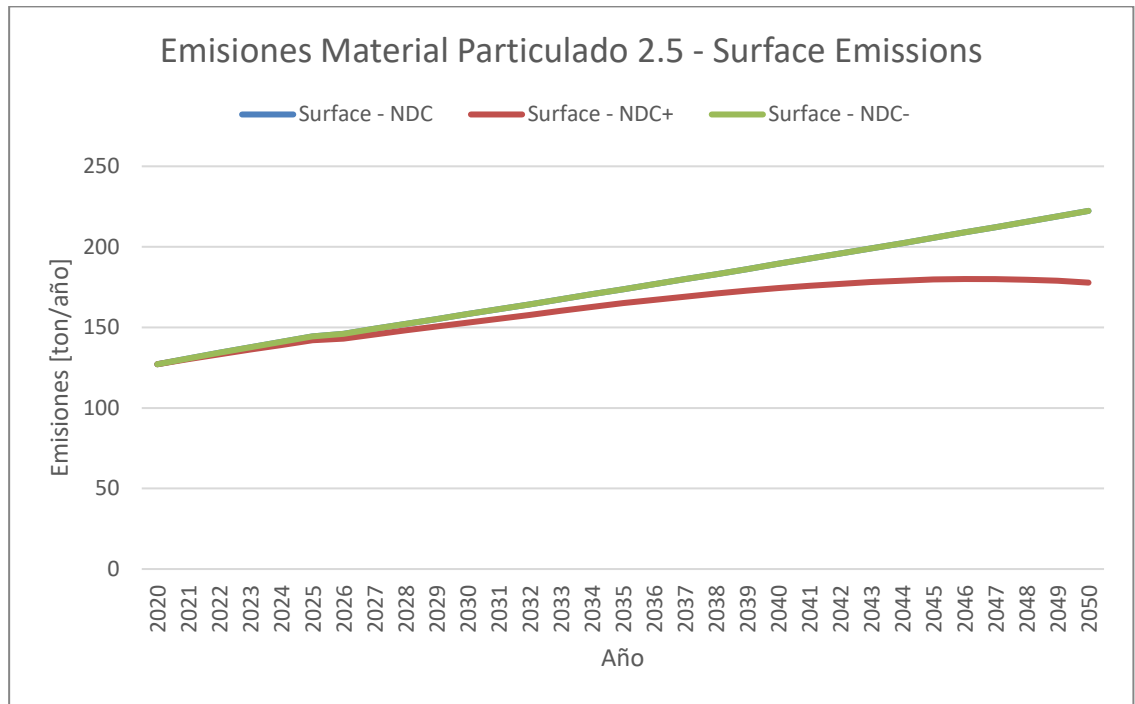


Gráfico 2: Emisiones de Material Particulado 2.5 – Surface Emissions [Elaboración Propia]

Es importante destacar que, en este caso, las emisiones del escenario NDC- y NDC son iguales. Contrario a lo que ocurre en el caso anterior, las emisiones de superficie aumentan en el periodo 2020-2050. El escenario NDC- y NDC inician con 127,14 toneladas en 2020, y terminan con 222,32 toneladas en 2050, mientras que en el escenario NDC+ hay un aumento menor, iniciando con 127,14 toneladas en 2020 y finalizando con 177,86 toneladas en 2050.

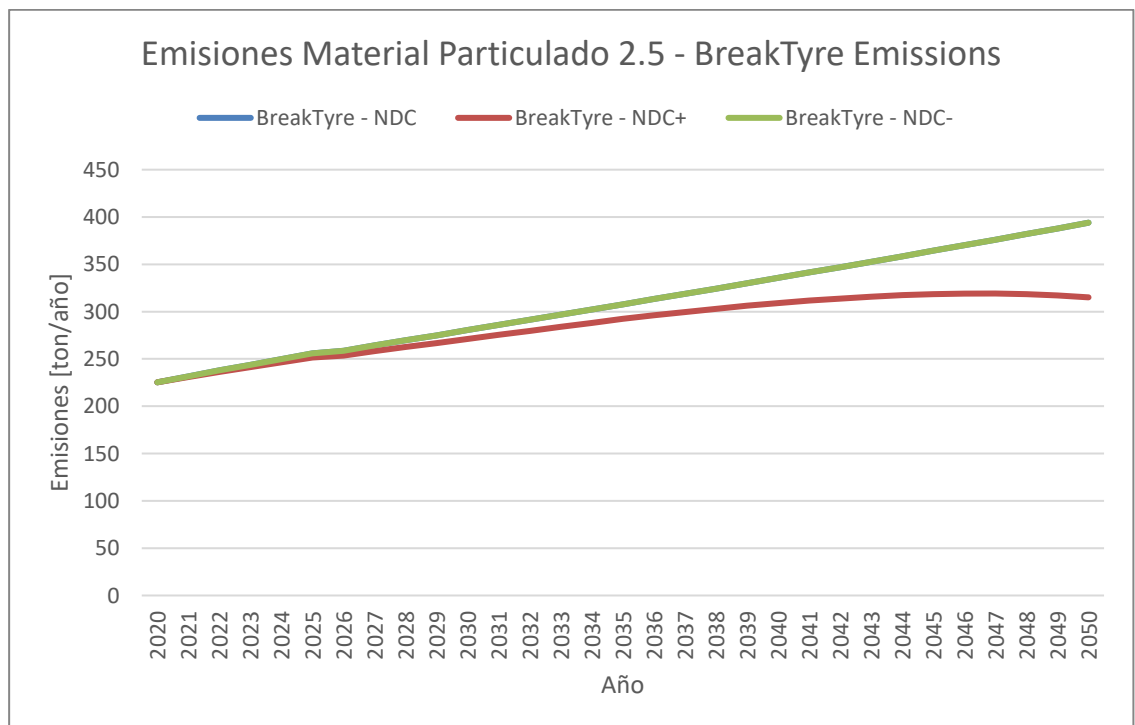


Gráfico 3: Emisiones de Material Particulado 2.5 – BreakTyre Emissions [Elaboración Propia]

Es importante destacar que, al igual que ocurre con las emisiones de superficie, las emisiones de freno del escenario NDC- y NDC son iguales. Similar a lo que ocurre en el caso anterior, las emisiones de regeneración de freno aumentan en el periodo 2020-2050. El escenario NDC- inicia con 225,29 toneladas en el año 2020, y termina con 393,99 toneladas en el año 2050, mientras que en el escenario NDC+ hay un aumento menor, iniciando con 225,29 toneladas en 2020 y finalizando con 315,19 toneladas en 2050.

De manera comparativa, las emisiones, por separado y en conjunto, quedarían de la siguiente manera:

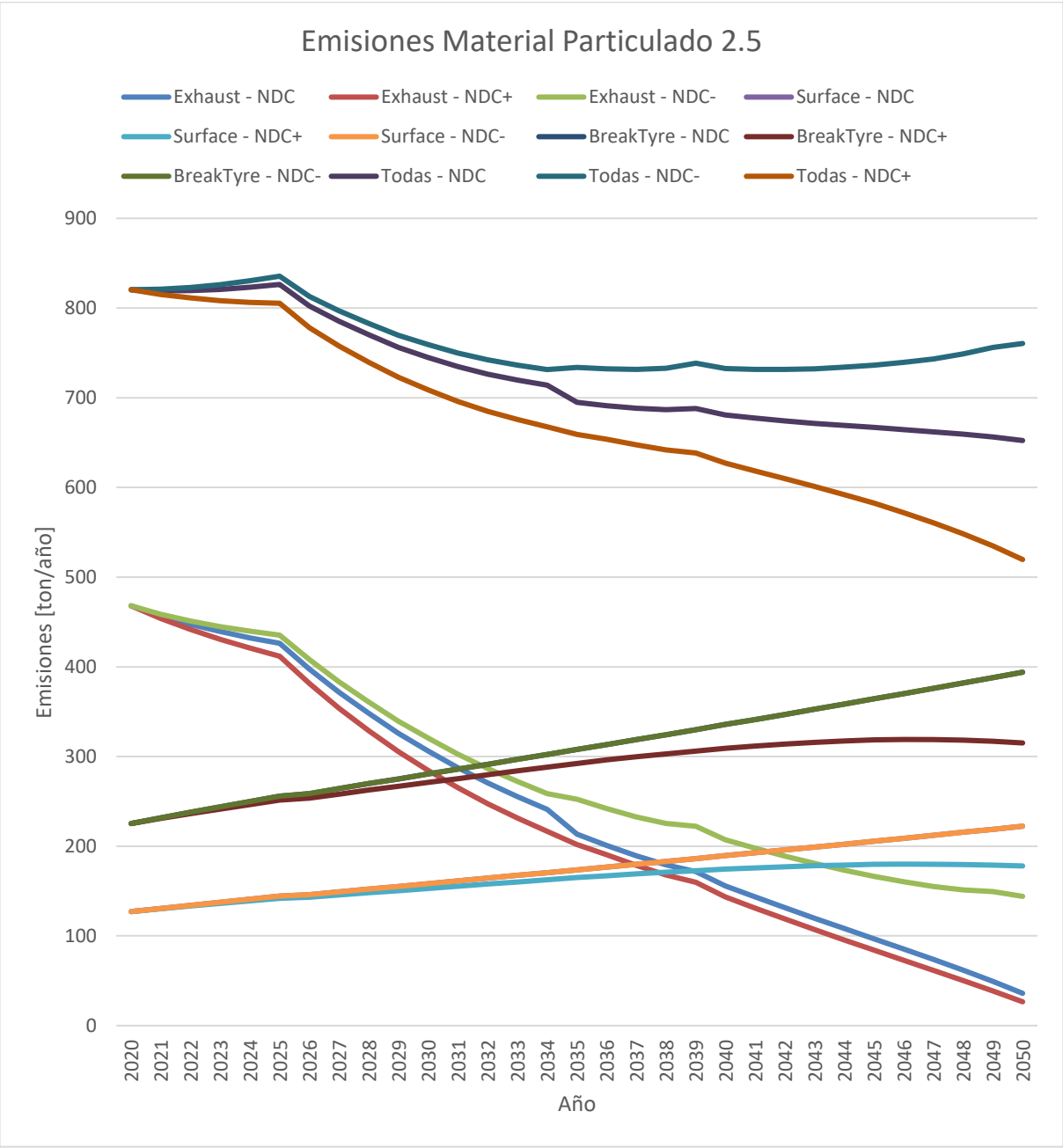


Gráfico 4: Emisiones de Material Particulado 2.5 [Elaboración Propia]

En el gráfico se puede evidenciar que las emisiones totales se reducen en el periodo 2020-2050, donde, las emisiones del escenario NDC- se reducen en 60 toneladas, las del escenario NDC se reducen en 168,12 toneladas y las del escenario NDC+ se reducen en 300,82 toneladas.

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno solo provienen desde tubo de escape (Exhaust Emissions), el cual también fue dividido en los tres escenarios: NDC-, NDC y NDC+. Dado esto, las emisiones de NOx utilizadas para los cálculos posteriores fueron las siguientes:

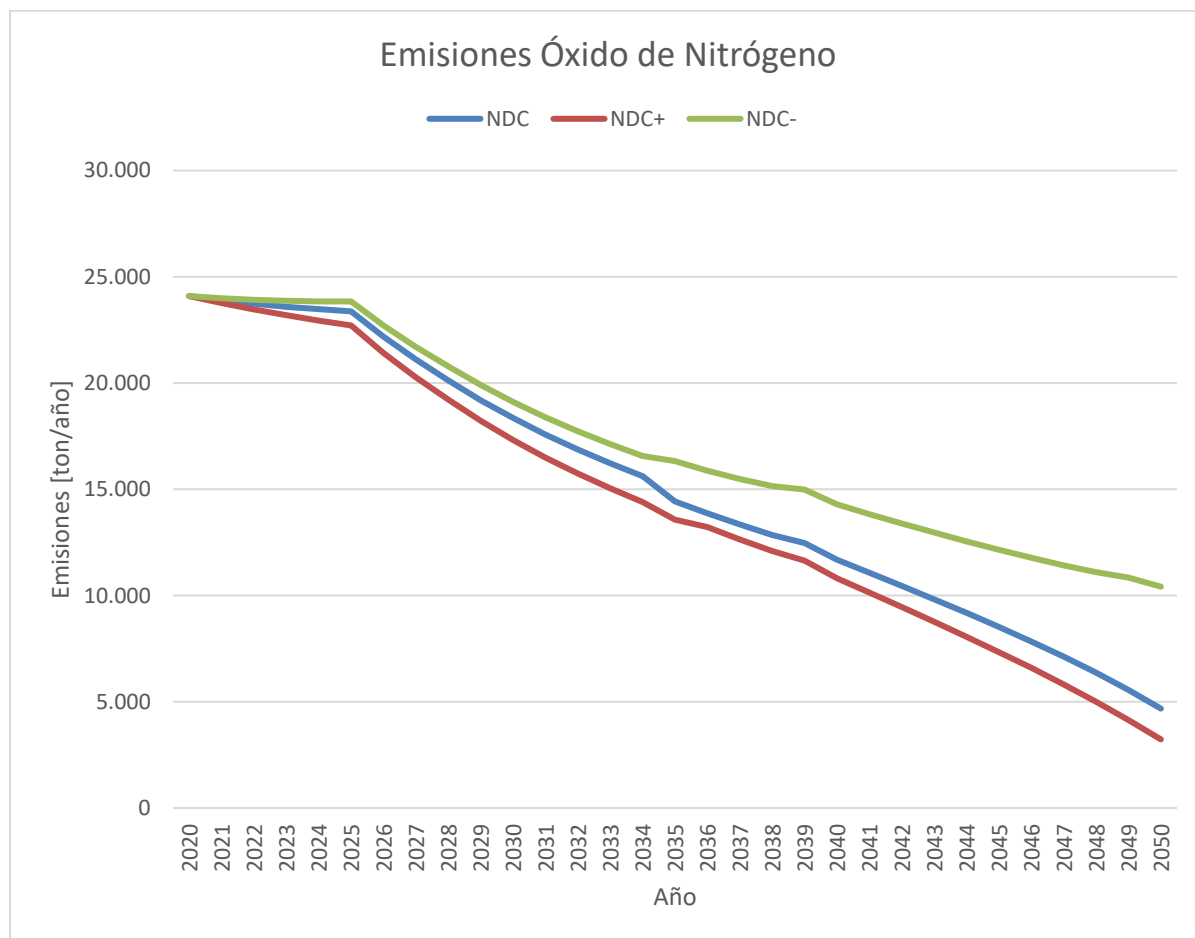


Gráfico 5: Emisiones de Óxido de Nitrógeno [Elaboración Propia]

En este caso las emisiones disminuyen en los tres escenarios. Las emisiones para todos los escenarios inician en el año 2020 con 24.094 toneladas, y, finalizan con 10.419 toneladas en 2050 en el escenario NDC-, finalizan con 4.680 toneladas en 2050 en el escenario NDC y finalizan con 3.230 toneladas en el escenario NDC+.

Para más detalle sobre los datos de emisiones revisar el anexo n°4

5.1.2 EMISIONES POR MODO VEHICULAR

A continuación, se detallan las emisiones separadas por modo vehicular: Bus, Camión, Taxi y Vehículo Liviano de Pasajeros. En esta sección, se han considerado tanto las emisiones de Material Particulado 2.5 como las emisiones de Óxido de Nitrógeno.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 para “Bus” son las siguientes:

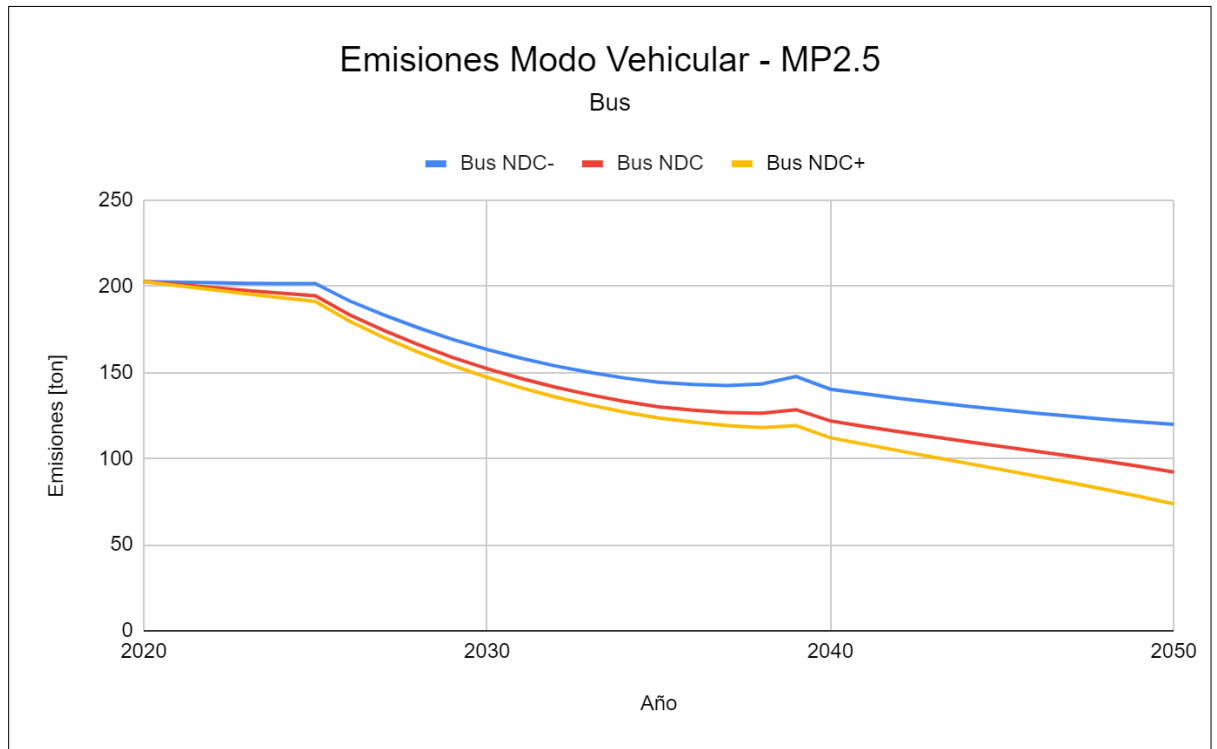


Gráfico 6: $MP_{2.5}$ - Emisiones por modo vehicular Bus [Elaboración Propia]

El gráfico n°6 muestra las emisiones del modo vehicular “Bus”, las cuales disminuyen en el periodo 2020-2050. Las emisiones del escenario NDC- se reducen en 82,857 toneladas, las emisiones del escenario NDC se reducen en 110,485 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ se reducen en 128,927 toneladas.

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno para “Bus” son las siguientes:

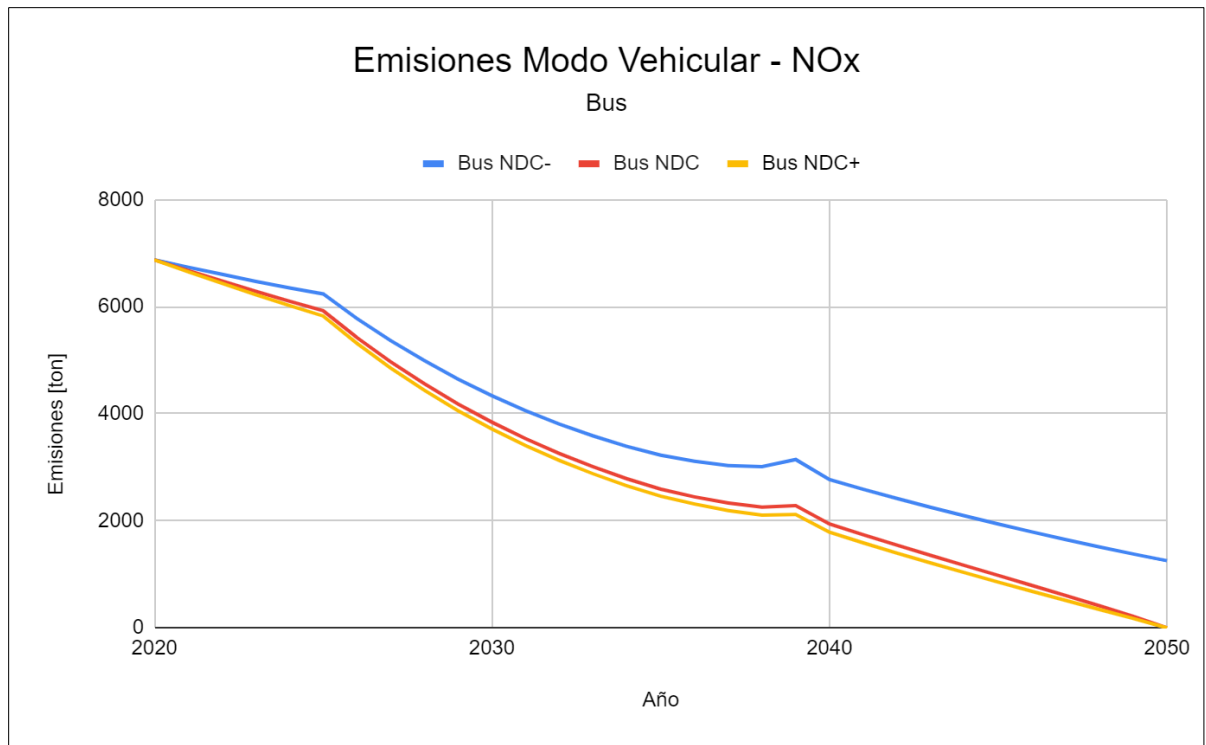


Gráfico 7: NOx - Emisiones por modo vehicular Bus [Elaboración Propia]

Por otro lado, el gráfico n°7 señala que las emisiones de Óxido de Nitrógeno también disminuyen en el periodo 2020-2050. En este caso, las emisiones se reducen en 5.621,327 toneladas en el escenario NDC- y se reducen en 6.876,228 toneladas en los escenarios NDC y NDC+. Cabe destacar que estos dos últimos escenarios disminuyen de manera diferenciada en el periodo, pero ambas llegan a 0 toneladas emitidas en el año 2050.

El salto en las emisiones, tanto de Material Particulado 2.5 como de Óxido de Nitrógeno hacia el 2025, se explica con las medidas implementadas en el periodo 2020-2035, donde hay una electrificación desde 0% al 31,5% en el escenario NDC-, de 0% al 31,5% en el escenario NDC y de 0% al 45% en el escenario NDC+. Por otro lado, que el salto que ocurre en las emisiones hacia 2040, se explican por la electrificación de este modo vehicular en el periodo 2035-2050, de un 31,5% al 70% en el escenario NDC-, de un 31,5% al 100% en el escenario NDC y de un 45% a un 100% en el escenario NDC+.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 para “Camión” son las siguientes:

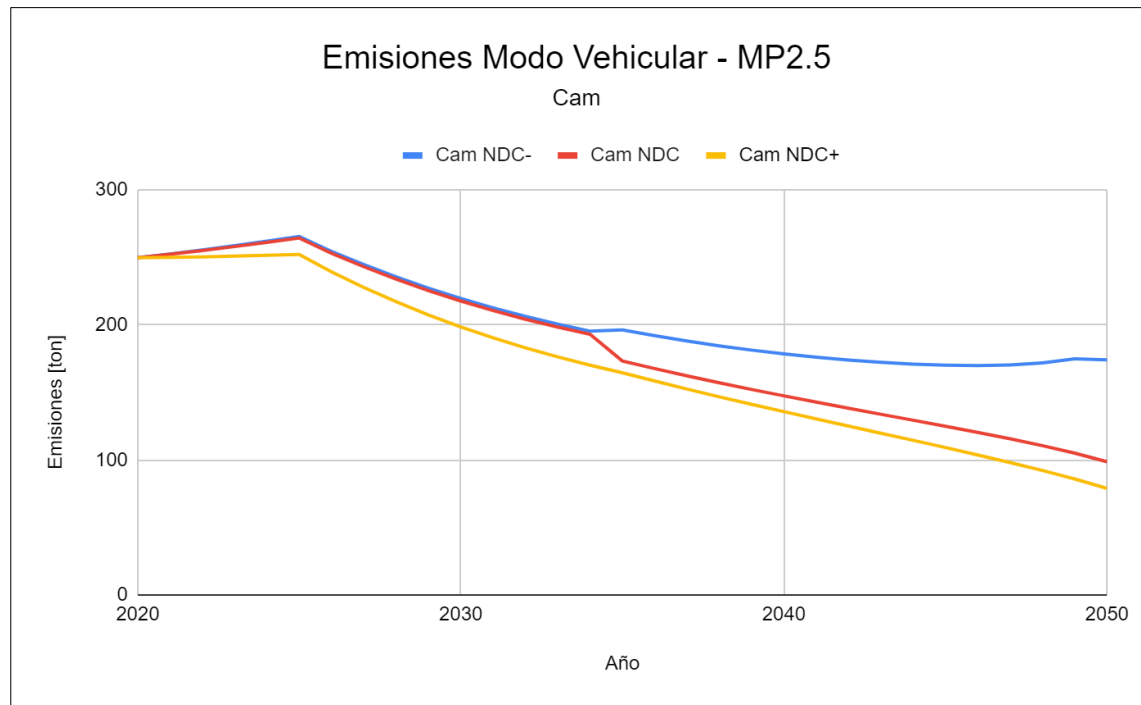


Gráfico 8: MP_{2.5} - Emisiones por modo vehicular Camión [Elaboración Propia]

El gráfico n°8 muestra las emisiones del modo vehicular “Camión”, las cuales denotan que en el periodo 2025-2050 se encuentran en disminución. Cabe destacar que, hasta el año 2035, las emisiones del escenario NDC son similares a las emisiones del escenario NDC-, y posterior a esta fecha, se asemejan más a las emisiones del escenario NDC+. Dentro del periodo, las emisiones del escenario NDC- se reducen en 75,60 toneladas, las emisiones del escenario NDC se reducen en 150,90 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ se reducen en 170,64 toneladas.

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno para “Camión” son las siguientes:

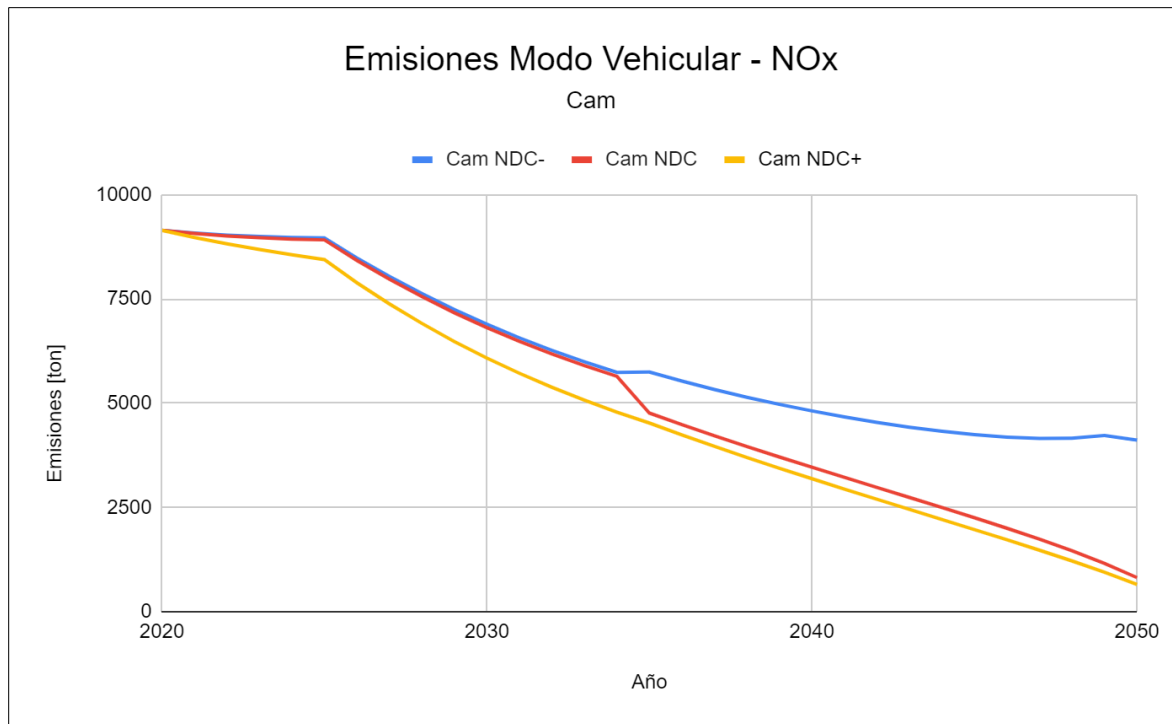


Gráfico 9: NOx - Emisiones por modo vehicular Camión [Elaboración Propia]

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno para el modo vehicular Camión siguen una tendencia similar a las emisiones de Material Particulado 2.5. Las emisiones del escenario NDC entre 2020-2035 son similares a las emisiones de NDC-, y posterior a ello, son más cercanas a las emisiones del escenario NDC+. Entre los años 2020 y 2050 las emisiones del escenario NDC- se reducen en 5.030,51 toneladas, las emisiones del escenario NDC se reducen en 8.323,69 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ se reducen en 8.488,35 toneladas.

El salto en la reducción de las emisiones hacia el 2025 se explica con las medidas implementadas en el periodo 2020-2035, donde hay una electrificación desde 0% al 5% en el escenario NDC-, de 0% al 21,25% en los escenarios NDC y NDC+. Por otro lado, que el salto que ocurre en las emisiones hacia 2035, se explican por la electrificación de este modo vehicular en el periodo 2035-2050, de un 5% al 25% en el escenario NDC-, de un 21,25% al 85% en los escenarios NDC y NDC+.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 para “Taxi” son las siguientes:

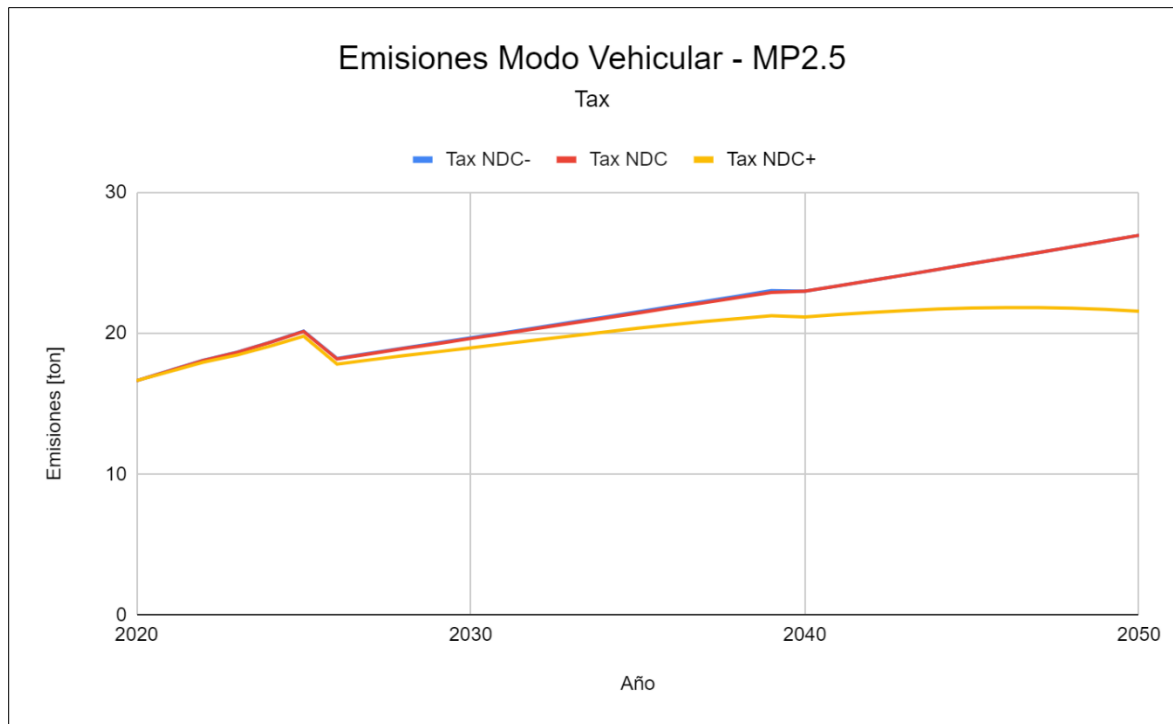


Gráfico 10: MP_{2.5} - Emisiones por modo vehicular Taxi [Elaboración Propia]

El gráfico n°10 denota que las emisiones del modo vehicular “Taxi” aumentan entre 2020 y 2050, y teniendo como excepción en el año 2026, donde ocurre un leve quiebre a esta tendencia. Además, es importante mencionar que las emisiones de los escenarios NDC- y NDC son iguales. ara este caso, las emisiones de los escenarios NDC- y NDC aumentan en 10,31 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ aumentan en 4,92 toneladas.

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno para “Taxi” son las siguientes:

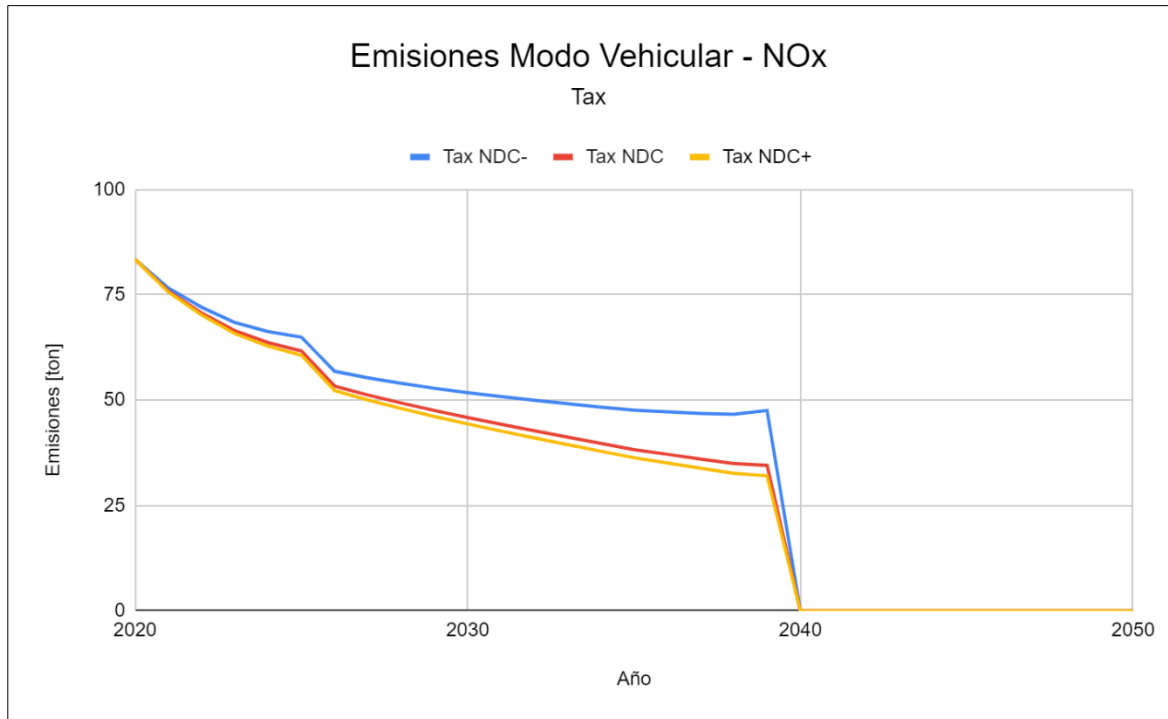


Gráfico 11: NOx - Emisiones por modo vehicular Taxi [Elaboración Propia]

Contrario a lo que ocurre en el caso anterior, las emisiones de Óxido de Nitrógeno disminuyen en el periodo 2020-2039, ya que luego de los años 2040, las emisiones de todos los escenarios se reducen a 0 toneladas; de esto, las emisiones de los escenarios NDC y NDC+ son similares. Por consiguiente, entre 2020 y 2039, las emisiones del escenario NDC- se reducen en 35,9 toneladas, las emisiones del escenario NDC se reducen en 48,92 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ se reducen en 51,42 toneladas.

El salto de las emisiones hacia el 2026 se explica con las medidas implementadas en el periodo 2020-2035, donde hay una electrificación desde 0% al 31,5% en el escenario NDC-, de 0% al 31,5% en el escenario NDC y de 0% al 45% en el escenario NDC+. Por otro lado, el salto que ocurre en las emisiones hacia 2040, se explican por la electrificación de este modo vehicular en el periodo 2035-2050, de un 31,5% al 70% en el escenario NDC-, de un 31,5% al 100% en el escenario NDC y de un 45% a un 100% en el escenario NDC+. Es importante señalar que la electrificación de este modo es porcentualmente igual a la del modo vehicular “Bus”.

Las emisiones de Material Particulado 2.5 para “Vehículo Liviano de Pasajeros” son las siguientes:

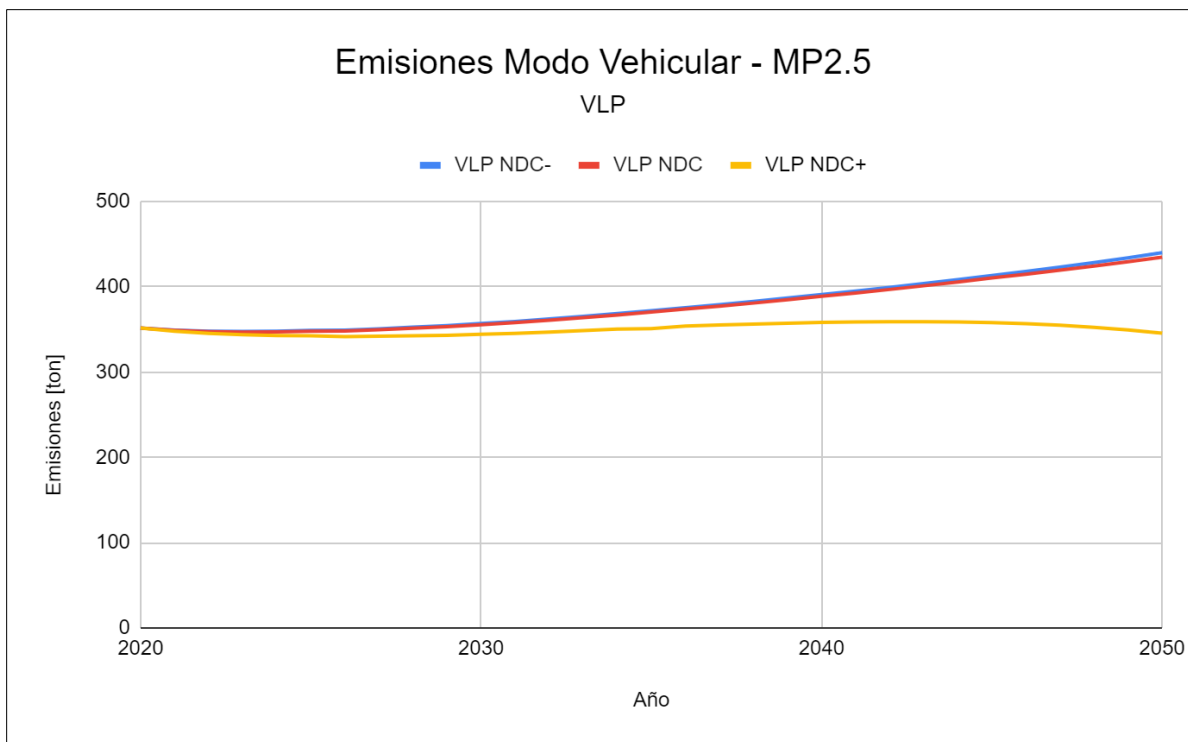


Gráfico 12: MP_{2.5} - Emisiones por modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajeros [Elaboración Propia]

El gráfico n°12 señala que las emisiones del modo vehicular “Vehículo Liviano de Pasajero” aumentan levemente en los escenarios NDC- y NDC en el periodo 2020-2050, las cuales, además, son muy similares. Las emisiones del escenario NDC- aumentan en 88,15 toneladas, las emisiones del escenario NDC aumentan en 82,95 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ disminuyen en 6,16 toneladas.

Las emisiones de Óxido de Nitrógeno para “Vehículo Liviano de Pasajeros” son las siguientes:

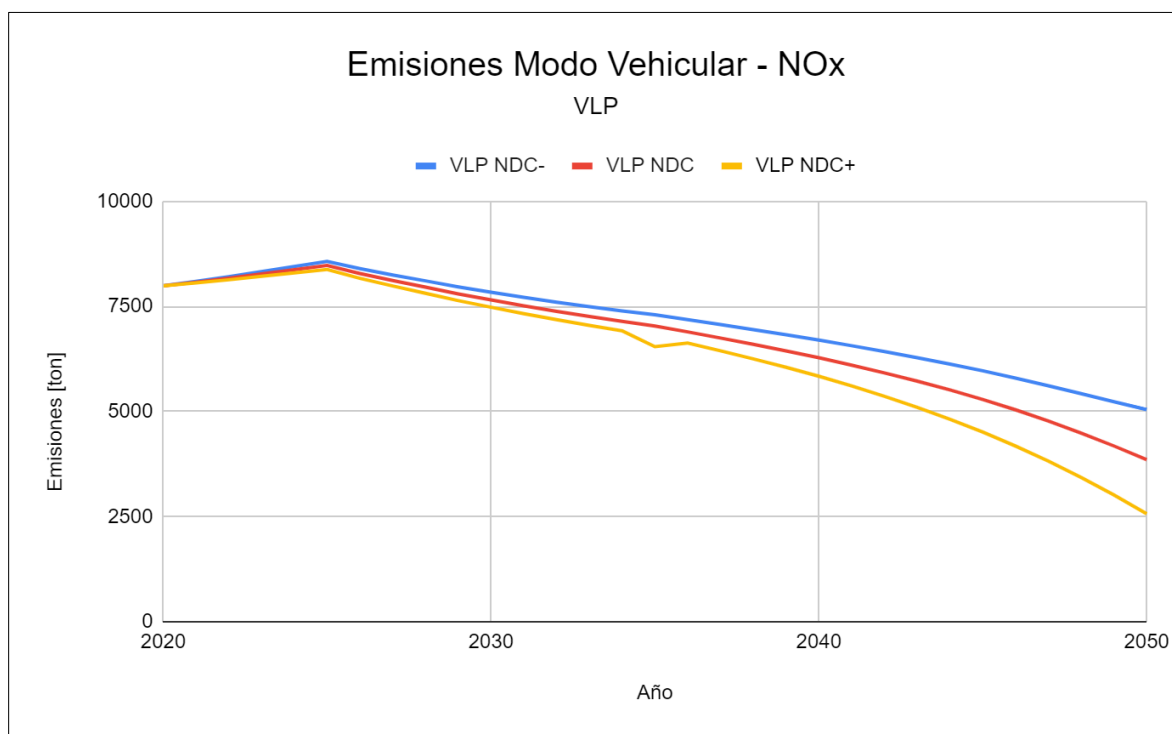


Gráfico 13: NOx - Emisiones por modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajeros [Elaboración Propia]

Las emisiones de los tres escenarios planteados, entre 2020 y 2025 aumentan levemente, año desde el cual comienzan a decaer. En conclusión, las emisiones del escenario NDC- se reducen en 2.939,58 toneladas, las emisiones del escenario NDC se reducen en 4.131,2 toneladas y las emisiones del escenario NDC+ se reducen en 5.415,81 toneladas.

El salto en la reducción de las emisiones hacia el 2025 se explica con las medidas implementadas en el periodo 2020-2035, donde hay una electrificación desde 0% al 11,25% en el escenario NDC-, de 0% al 14,5% en el escenario NDC y de 0% al 16,25% en el escenario NDC+. Por otro lado, que el salto que ocurre en las emisiones hacia 2035, se explican por la electrificación de este modo vehicular en el periodo 2035-2050, de un 11,25% al 45% en el escenario NDC-, de un 14,5% al 58% en el escenario NDC y de un 16,25% a un 65% en el escenario NDC+.

Para más detalle sobre los datos de emisiones revisar el anexo n°4

5.2 CO-BENEFICIOS POR ESCENARIOS DE EMISIONES

En este apartado se presenta el número de efectos (co-beneficios) obtenidos para la Región Metropolitana en los diferentes escenarios, por contaminante, origen de la emisión y modo vehicular. Los efectos se presentan para mortalidad cardiopulmonar, admisión hospitalaria, visita a salas de emergencia y productividad perdida.

5.2.1 ESCENARIO BAJO

Los co-beneficios calculados de Material Particulado 2.5 en la Región Metropolitana, considerando el total de las emisiones (EE y NEE), para el escenario bajo fueron:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	-3	-5	-16	-24	-35	-59
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	0	0	0	0	0	-1
	Cardiovascular	0	-1	-2	-6	-8	-12	-19
	Respiratoria Crónica	0	0	0	-1	-1	-2	-3
	Neumonía	0	-1	-2	-5	-8	-12	-20
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	-1	-1	-1
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	-1	-2	-4	-6	-8	-12
Productividad Perdida	Días laborales	0	-479	-754	-2046	-2706	-3604	-5488
	Días de act restringida	0	-2335	-3681	-9994	-13219	-17604	-26811
	Días de act restringida menor	0	-3759	-5927	-16344	-21627	-28818	-43945

Tabla 2: Co-beneficios MP_{2.5} escenario bajo Región Metropolitana [Elaboración Propia]

En la tabla n°2 se evidencia que en el periodo 2020-2050, tanto de mortalidad, admisión hospitalaria, visita a salas de emergencias y productividad perdida, los co-beneficios van decreciendo.

Cabe destacar que, debido a que el diferencial de las emisiones que no provienen de escape en el escenario bajo tiende a cero, los co-beneficios presentados en la tabla n°1 son iguales a los co-beneficios de las emisiones de escape.

Los co-beneficios calculados de Óxido de Nitrógeno en la Región Metropolitana, para el escenario bajo fueron:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	-30	-58	-165	-249	-380	-651
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	-1	-1	-3	-4	-5	-8
	Cardiovascular	0	-11	-21	-57	-85	-127	-213
	Respiratoria Crónica	0	-2	-3	-9	-13	-20	-32
	Neumonía	0	-10	-19	-55	-83	-128	-220
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	-1	-2	-5	-7	-9	-15
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	-12	-19	-46	-62	-84	-130
Productividad Perdida	Días laborales	0	-5032	-8340	-20843	-28481	-39377	-60912
	Días de act restringida	0	-24543	-40699	-101801	-139111	-192339	-297557
	Días de act restringida menor	0	-39502	-65536	-166477	-227596	-314853	-487718

Tabla 3: Co-beneficios NO_x escenario bajo Región Metropolitana [Elaboración Propia]

Los efectos presentados en la tabla n°3 siguen la misma tendencia anterior, ya que tanto para mortalidad, admisiones hospitalarias, visita a salas de emergencia y productividad perdida tienen co-beneficios negativos y decrecientes.

Considerando ambos tipos de emisiones, Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno, los co-beneficios son:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	-33	-64	-181	-273	-415	-710
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	-1	-1	-3	-4	-5	-8
	Cardiovascular	0	-12	-23	-63	-93	-139	-233
	Respiratoria Crónica	0	-2	-4	-10	-15	-21	-35
	Neumonía	0	-11	-21	-60	-91	-139	-240
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	-1	-2	-5	-7	-10	-16
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	-13	-21	-50	-67	-92	-142
Productividad Perdida	Días laborales	0	-5510	-9094	-22890	-31188	-42981	-66400
	Días de act restringida	0	-26878	-44380	-111795	-152330	-209943	-324368
	Días de act restringida menor	0	-43261	-71463	-182821	-249223	-343671	-531663

Tabla 4: Co-beneficios MP_{2.5} y NO_x como conjunto escenario bajo Región Metropolitana [Elaboración Propia]

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.2.2 ESCENARIO ALTO

Los co-beneficios calculados de Material Particulado 2.5 en la Región Metropolitana, considerando el total de las emisiones (EE y NEE), para el escenario alto, y según el efecto fueron:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	7	13	15	25	42	72
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	0	0	0	0	1	1
	Cardiovascular	0	2	5	5	8	14	24
	Respiratoria Crónica	0	0	1	1	1	2	4
	Neumonía	0	2	4	5	8	14	24
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	1	1	2
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	3	4	4	6	9	14
Productividad Perdida	Días laborales	0	1094	1888	1871	2817	4379	6736
	Días de act restringida	0	5336	9212	9140	13760	21392	32906
	Días de act restringida menor	0	8588	14833	14948	22513	35018	53935

Tabla 5: Co-beneficios MP_{2.5} escenario alto Región Metropolitana [Elaboración Propia]

En la tabla n°5 se evidencia que los efectos producidos por la reducción de emisiones son crecientes en el periodo 2020-2050, para todos los tipos de efectos presentados.

Los co-beneficios calculados de Material Particulado 2.5 en la Región Metropolitana, considerando solo las emisiones que provienen de escape, para el escenario alto fueron:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	5	8	5	6	6	5
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	0	2	3	2	2	2	2
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	0	0	0
	Neumonía	0	1	3	2	2	2	2
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	0	0	0
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	2	3	1	1	1	1
Productividad Perdida	Días laborales	0	748	1123	605	632	657	479
	Días de act restringida	0	3646	5479	2956	3086	3209	2340
	Días de act restringida menor	0	5869	8823	4834	5049	5254	3835

Tabla 6: Co-beneficios MP_{2.5} escenario alto Exhaust Emissions Región Metropolitana
[Elaboración Propia]

La tabla n°6 refleja que las emisiones provenientes de escape del escenario alto generarían una parte pequeña de los efectos del total, en comparación con la tabla n°4, lo cual se produce para todos los efectos mencionados en ella. De ello, se destaca que hacia 2050 hay un leve decrecimiento de los efectos comparado con los años anteriores.

Considerando solo las emisiones de superficie, los resultados son:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	1	2	4	7	13	24
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	0	0	1	1	2	4	8
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	0	1	1
	Neumonía	0	0	1	1	2	4	8
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	0	0	1
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	0	1	1	2	3	5
Productividad Perdida	Días laborales	0	125	276	457	788	1343	2257
	Días de act restringida	0	610	1347	2231	3851	6559	11026
	Días de act restringida menor	0	981	2168	3648	6300	10737	18072

Tabla 7: Co-beneficios MP_{2.5} escenario alto Surface Emissions Región Metropolitana
[Elaboración Propia]

En la tabla n°7 se muestran resultados con la misma tendencia a los resultados, creciente y positivos, si bien sigue con el mismo curso que los resultados de la tabla anterior, estos, son proporcionalmente mayores que los co-beneficios de las emisiones que provienen de escape.

Considerando solo las emisiones de freno, los resultados son:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	1	3	6	12	23	43
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	0	0	0	0	0	1
	Cardiovascular	0	0	1	2	4	8	14
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	1	1	2
	Neumonía	0	0	1	2	4	8	14
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	0	1	1
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	1	1	2	3	5	9
Productividad Perdida	Días laborales	0	221	489	809	1397	2380	4000
	Días de act restringida	0	1080	2386	3953	6824	11623	19540
	Días de act restringida menor	0	1738	3842	6465	11164	19027	32028

Tabla 8: Co-beneficios MP_{2.5} escenario alto Breaktyre Emissions Región Metropolitana [Elaboración Propia]

En la tabla n°8 se muestran resultados con la misma tendencia a los resultados obtenidos de las emisiones de superficie, pero incluso mayores en magnitud, siendo estas emisiones, las que más co-beneficios generan para este escenario de Material Particulado 2.5.

Los co-beneficios de Óxido de Nitrógeno en la Región Metropolitana, para el escenario alto fueron:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	44	79	75	83	124	164
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	1	1	1	1	2	2
	Cardiovascular	0	16	28	26	28	41	54
	Respiratoria Crónica	0	3	5	4	4	6	8
	Neumonía	0	14	26	25	28	42	56
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	2	2	2	2	3	4
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	17	26	21	21	27	33
Productividad Perdida	Días laborales	0	7253	11289	9434	9529	12811	15380
	Días de act restringida	0	35377	55093	46078	46541	62574	75132
	Días de act restringida menor	0	56940	88714	75352	76145	102432	123148

Tabla 9: Co-beneficios NO_x escenario alto Región Metropolitana [Elaboración Propia]

Para Óxido de Nitrógeno se presentan resultados con tendencias similares a las de Material Particulado 2.5, positivos y crecientes. Cabe destacar que dentro de admisiones hospitalarias los efectos por causas cardiovasculares y neumonía son aquellos que mayores co-beneficios generan

Considerando Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno como conjunto, los co-beneficios para este escenario son:

Tipo de efecto	Efecto	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	50	92	89	108	166	236
Admisiones Hospitalarias	Asma	0	1	2	1	2	2	3
	Cardiovascular	0	19	33	31	37	55	78
	Respiratoria Crónica	0	3	5	5	6	9	12
	Neumonía	0	16	30	30	36	56	80
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	2	3	3	3	4	5
Visita Salas de Emergencia	Asma	0	19	30	25	27	37	47
Productividad Perdida	Días laborales	0	8347	13177	11306	12346	17190	22116
	Días de act restringida	0	40713	64305	55218	60302	83966	108038
	Días de act restringida menor	0	65528	103547	90300	98658	137449	177083

*Tabla 10: Co-beneficios MP_{2.5} y NO_x como conjunto escenario alto Región Metropolitana
[Elaboración Propia]*

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.3 CO-BENEFICIOS EN SALUD SEGÚN ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL

En este apartado se presenta el número de efectos obtenidos en los diferentes escenarios en algunos grupos de comunas, según su índice de prioridad social. Al igual que en el caso anterior, los efectos se presentan por contaminante y origen de la emisión. Los efectos se presentan para mortalidad cardiopulmonar, admisión hospitalaria por causas cardiovasculares y neumonía.

5.3.1 CO-BENEFICIOS EN MORTALIDAD EN COMUNAS DE ALTA PRIORIDAD SOCIAL VERSUS COMUNAS SIN PRIORIDAD SOCIAL

Los co-beneficios obtenidos para las comunas con alta prioridad social y sin prioridad social, considerando las emisiones de Material Particulado 2.5 por separado, fueron:

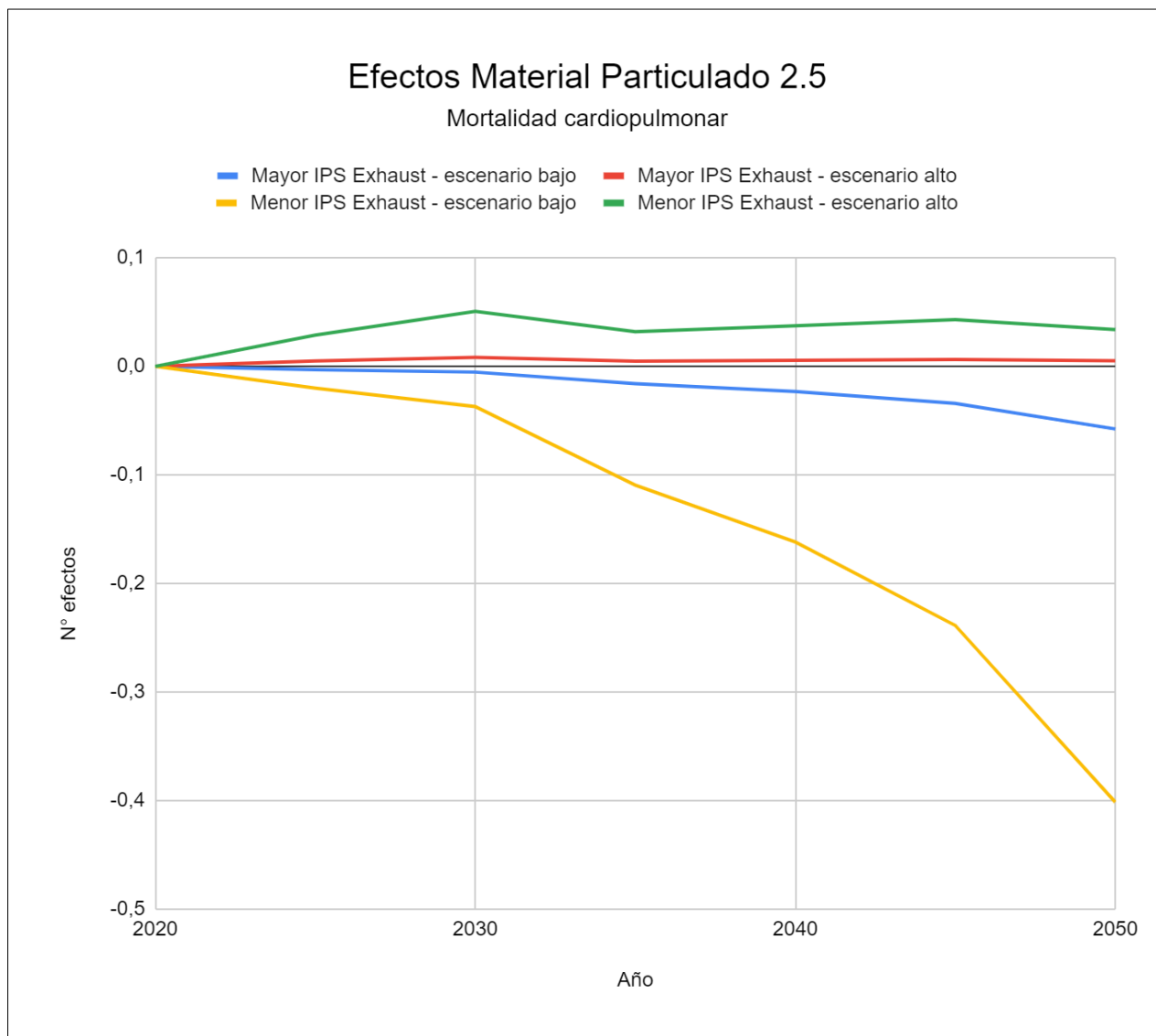


Gráfico 14: Co-beneficios en mortalidad $MP_{2.5}$ Exhaust escenario bajo vs escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

En el gráfico anterior, los co-beneficios en el escenario bajo son para ambos casos decrecientes, siendo mayor en magnitud los que corresponden a las comunas sin prioridad social. En el escenario alto, los co-beneficios de ambos casos son positivos, mas no crecientes en todo el periodo estudiado. De ello, se destaca que los co-beneficios correspondientes a las comunas alta prioridad social son inferiores a su contraparte, e incluso, más cercanos a cero para ambos escenarios.

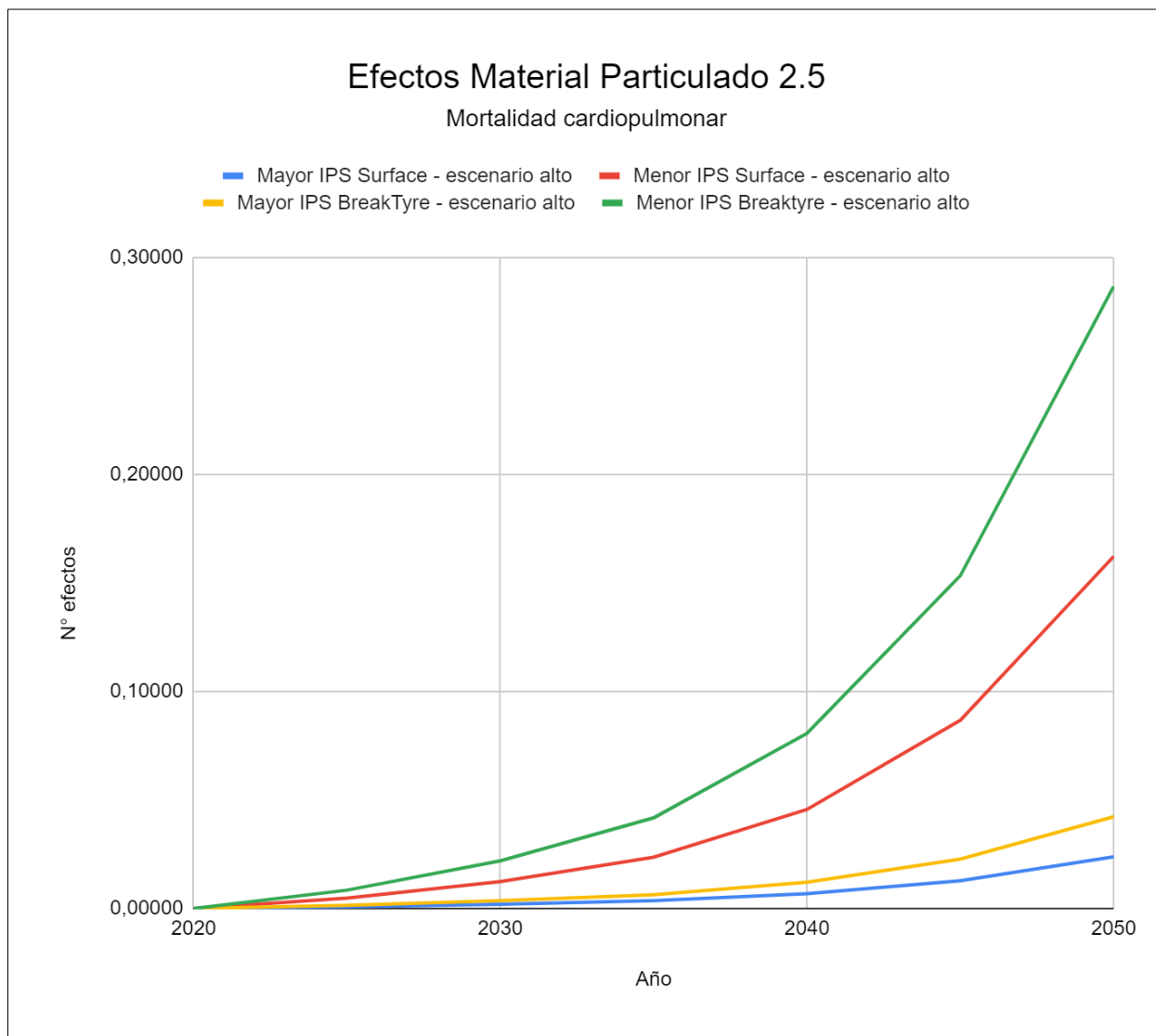
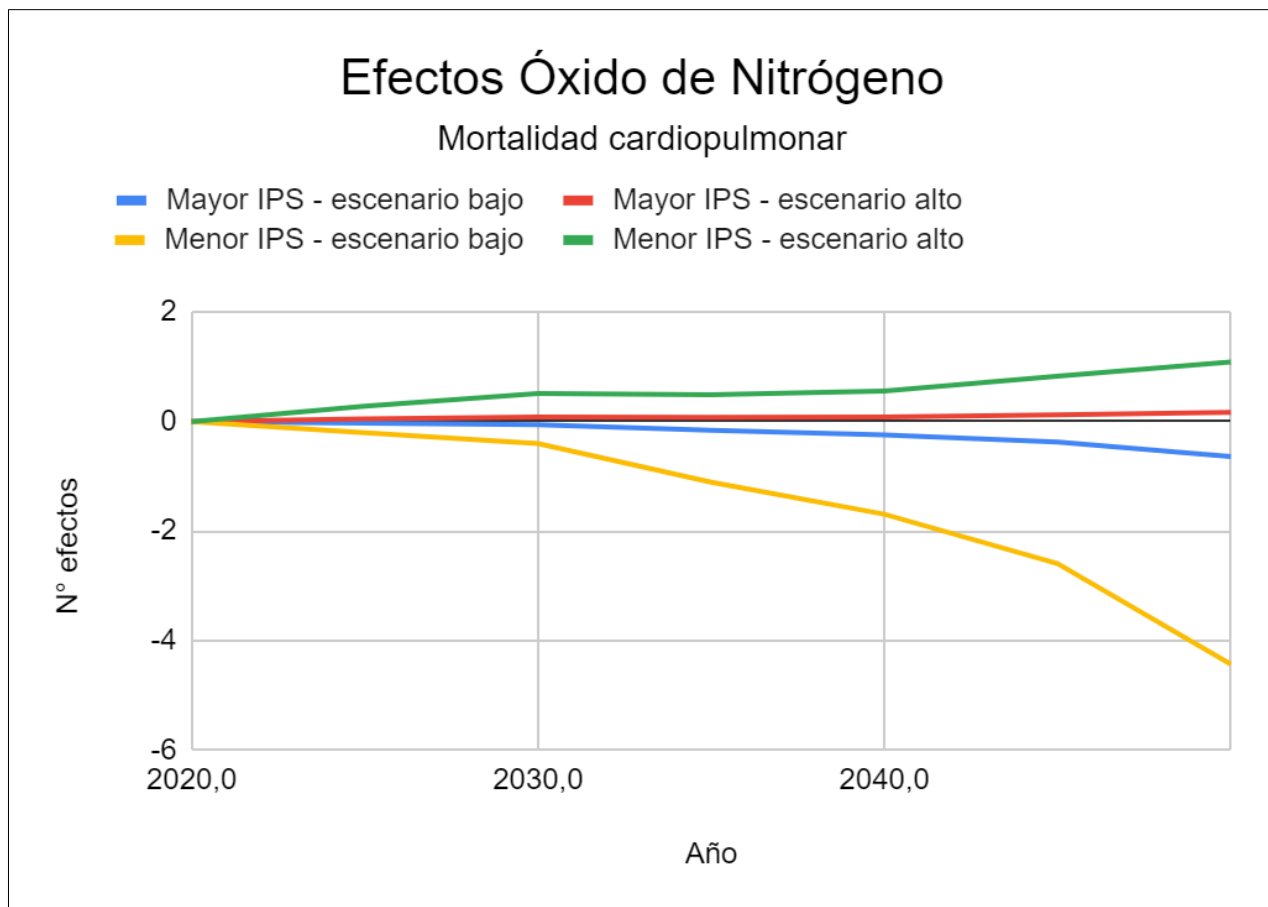


Gráfico 15: Co-beneficios en mortalidad MP_{2.5} Surface y BreakTyre escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

En este gráfico se puede evidenciar que las emisiones de freno generan mayores co-beneficios que las emisiones de superficie, tanto para las comunas mayor índice de prioridad social, como para las comunas con menor índice de prioridad social. Para ambos casos, los co-beneficios de las comunas con menor IPS son numéricamente superiores a los co-beneficios generados en las comunas de mayor índice de prioridad social.

Por otro lado, para Óxido de Nitrógeno, se desprende lo siguiente:



*Gráfico 16: Co-beneficios en mortalidad NOx escenario bajo vs escenario alto en las comunas con mayor índice de prioridad social vs las comunas con menor índice de prioridad social
[Elaboración propia]*

En el gráfico n°13 se evidencia que las comunas con mayor índice de prioridad social, en ambos escenarios, tienen los co-beneficios cercanos a cero. Además, las comunas con menor índice de prioridad social en el escenario bajo tienen co-beneficios cercanos a 4, y en el escenario alto, cercanos 1.

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.3.2 ADMISIONES HOSPITALARIAS EN COMUNAS CON MENOR IPS VERSUS COMUNAS CON MAYOR ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL

Considerando las comunas mencionadas anteriormente, se realizó una comparación de los co-beneficios en admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y neumonía, calculados para el escenario bajo, así como para el escenario alto. Para Material Particulado 2.5 se desprende lo siguiente:

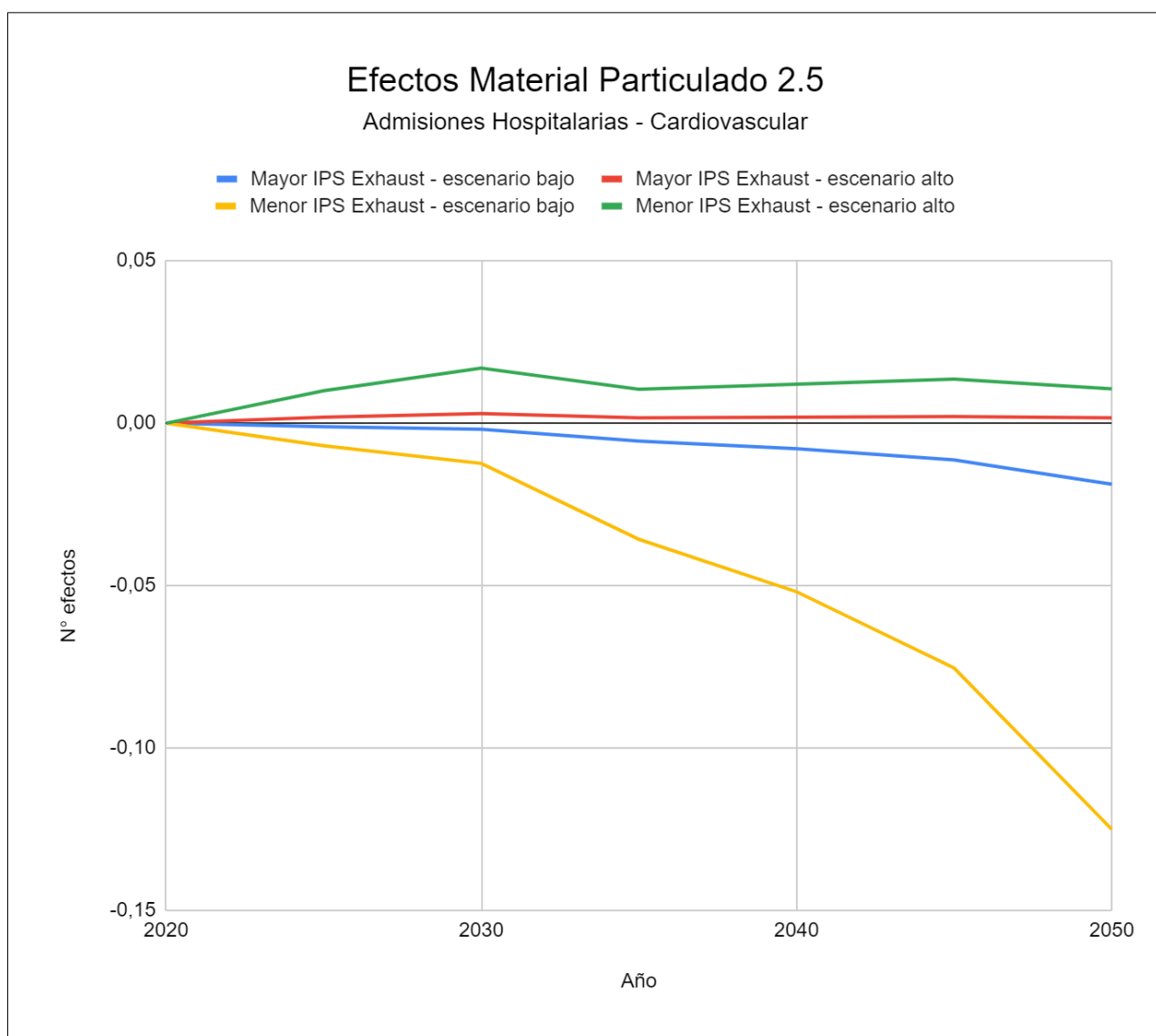


Gráfico 17: Co-beneficios admisión hospitalaria cardiovascular $MP_{2.5}$ Exhaust escenario bajo vs escenario alto en las comunas con mayor índice de prioridad social vs comunas con menor índice de prioridad social [Elaboración propia]

El gráfico n°17 muestra los co-beneficios de las admisiones hospitalarias cardiovasculares para ambos escenarios de las emisiones provenientes de escape. En él, se evidencia que se continúa con la tendencia de los efectos en mortalidad. En el escenario alto, los co-beneficios de ambos casos son positivos, pero decrecen levemente luego del año 2030. Los co-beneficios correspondientes a las comunas mayor índice de prioridad social, en el escenario alto, son inferiores a los co-beneficios de las comunas menor índice de prioridad social.

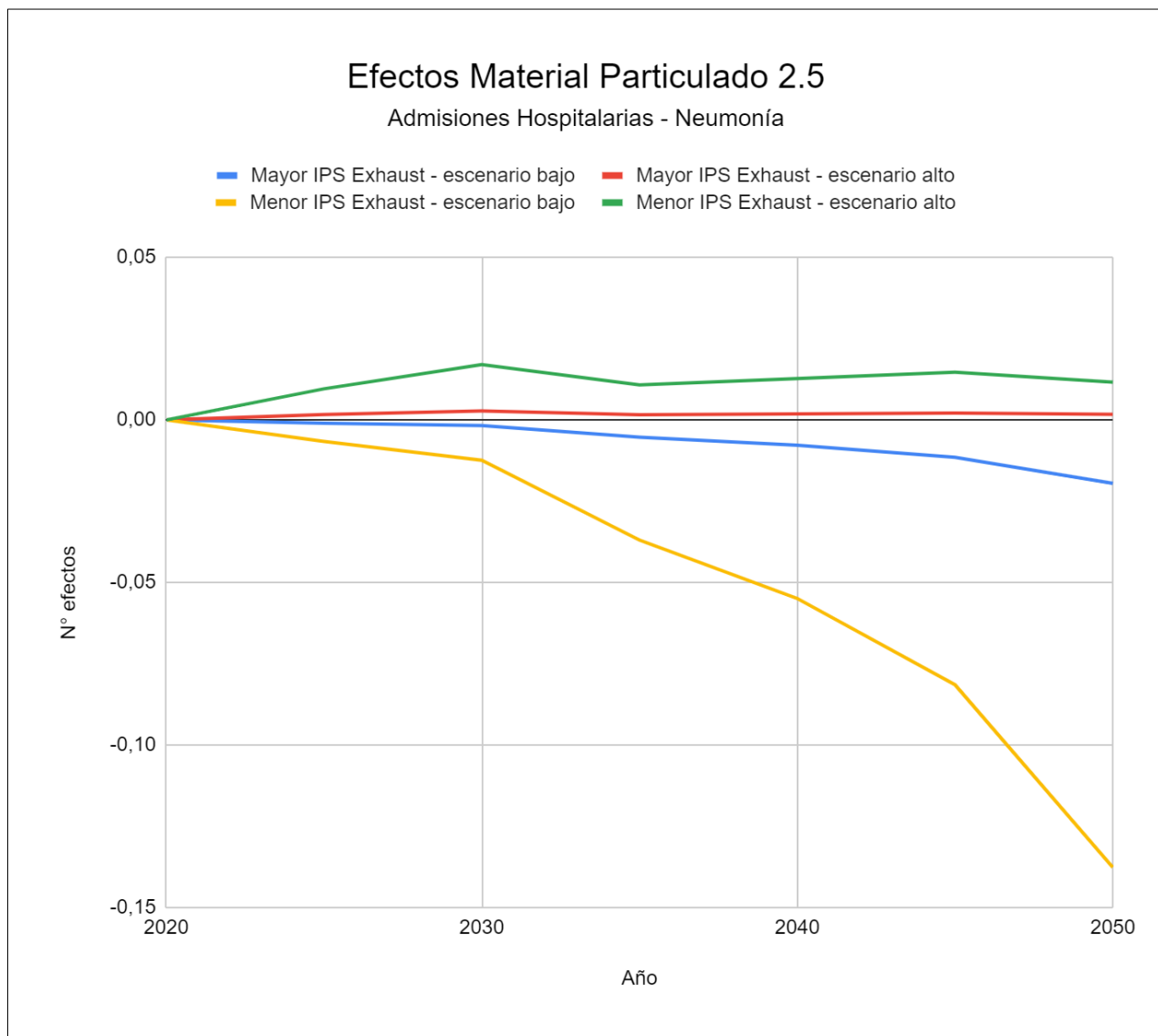


Gráfico 18: Co-beneficios admisión hospitalaria neumonía $MP_{2.5}$ Exhaust escenario bajo vs escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

En el gráfico n°18 se evidencia que los co-beneficios de las admisiones hospitalarias por neumonía siguen la misma tendencia que los co-beneficios de las admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares, siendo estos incluso similares en magnitud.

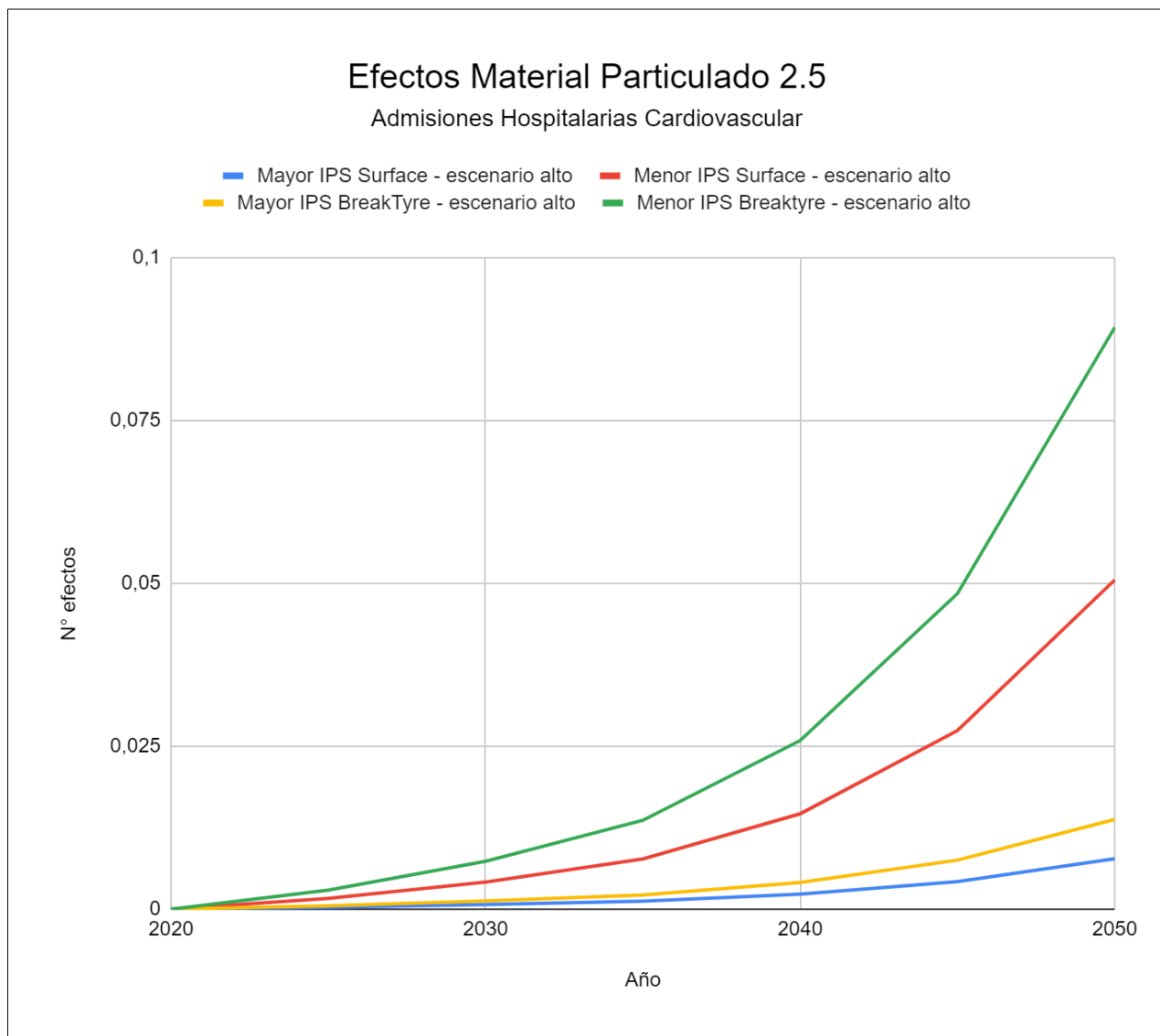


Gráfico 19: Co-beneficios admisión hospitalaria cardiovascular $MP_{2.5}$ Surface y BreakTyre escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

En este gráfico, al igual que en los mismos escenarios en mortalidad cardiovascular, se evidencia que los co-beneficios producidos por las emisiones de freno son numéricamente superiores a los generados para los mismos escenarios por las emisiones de superficie, además, son superiores para las comunas menor índice de prioridad social.

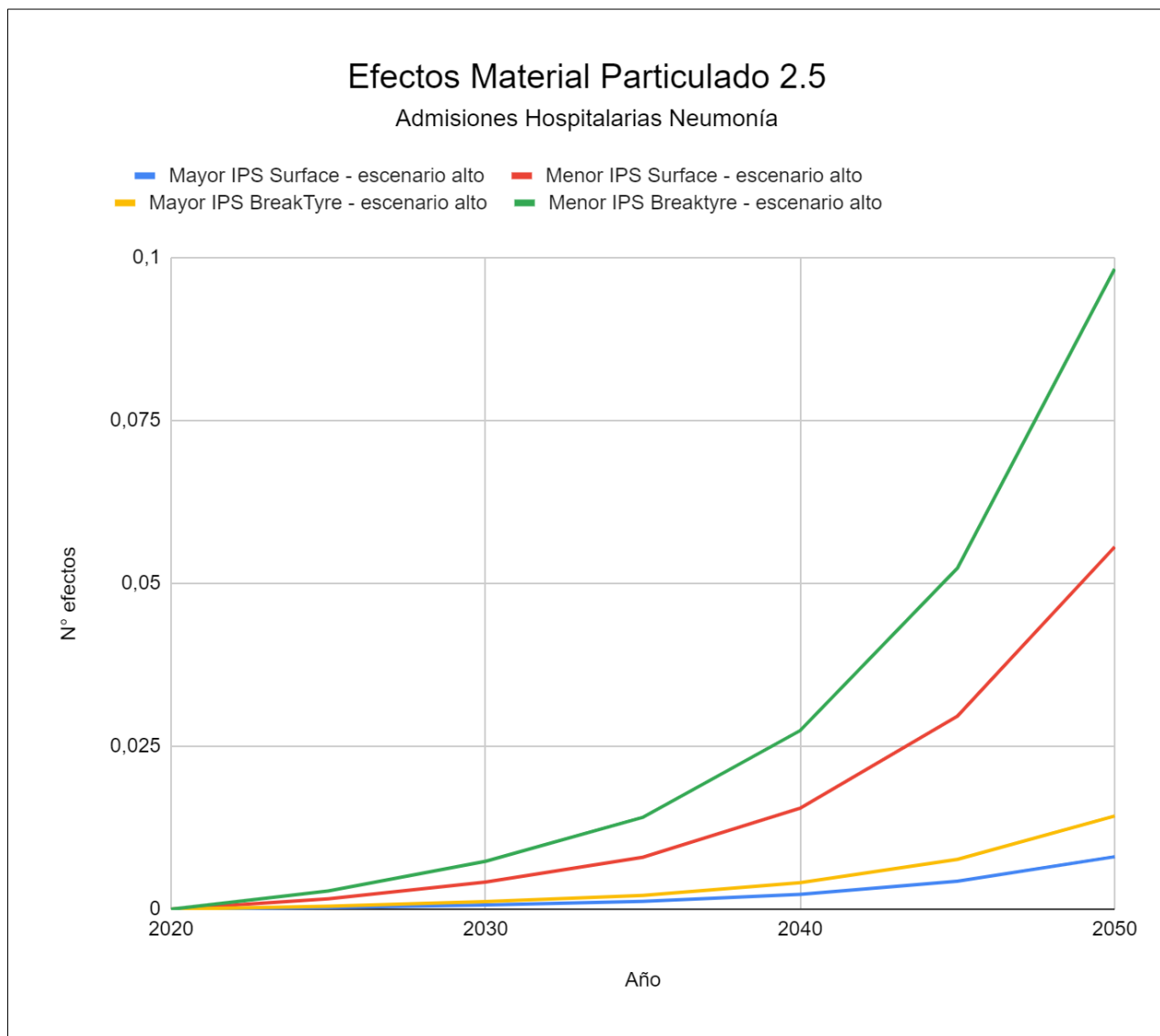


Gráfico 20: Co-beneficios admisión hospitalaria neumonía $MP_{2.5}$ Surface y BreakTyre escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

El gráfico n°20 muestra que los co-beneficios para el escenario alto en las comunas con alta prioridad social como las comunas sin prioridad social, para las emisiones de superficie y de freno, son crecientes y positivos. Las comunas con mayor índice de prioridad social tienen co-beneficios inferiores a 0,01 y levemente superiores a 0,01 para las emisiones de superficie y freno, respectivamente. Las comunas sin prioridad social tienen co-beneficios cercanos a 0,05 y 0,1 para las emisiones de superficie y freno, respectivamente.

Por otro lado, para Óxido de Nitrógeno, se desprende lo siguiente:

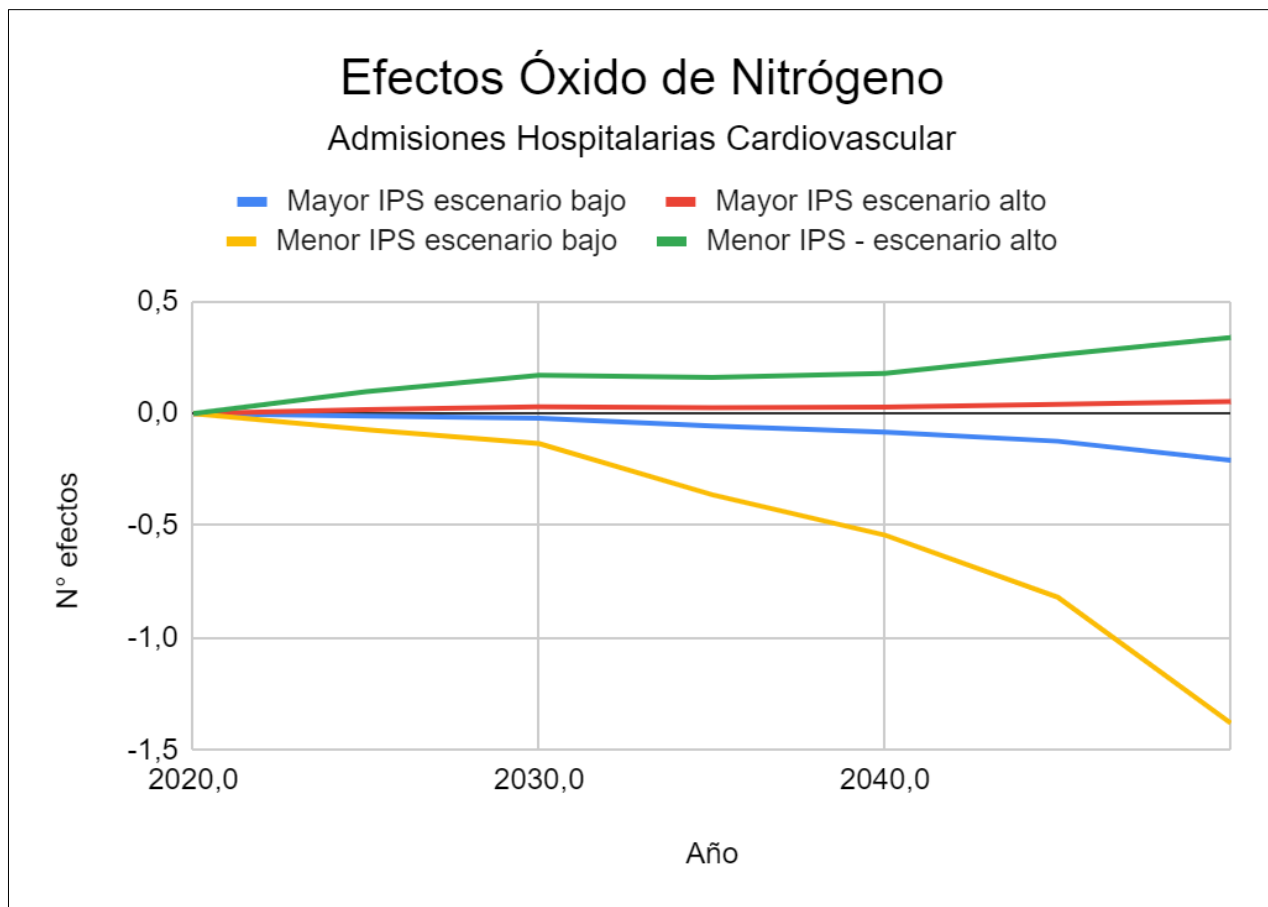


Gráfico 21: Co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular NOx escenario bajo vs escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

El gráfico n°21 muestra, primero, que las comunas de alta de prioridad social en el escenario bajo tienen co-beneficios decrecientes en el periodo 2020-2050, y estas mismas comunas en el escenario alto, tienen co-beneficios cercanos a 0,05 en el mismo periodo. Segundo, que los co-beneficios para las comunas sin prioridad social en el escenario bajo son cercanos a 0 y que para el escenario alto tienen co-beneficios cercanos a 0,3.

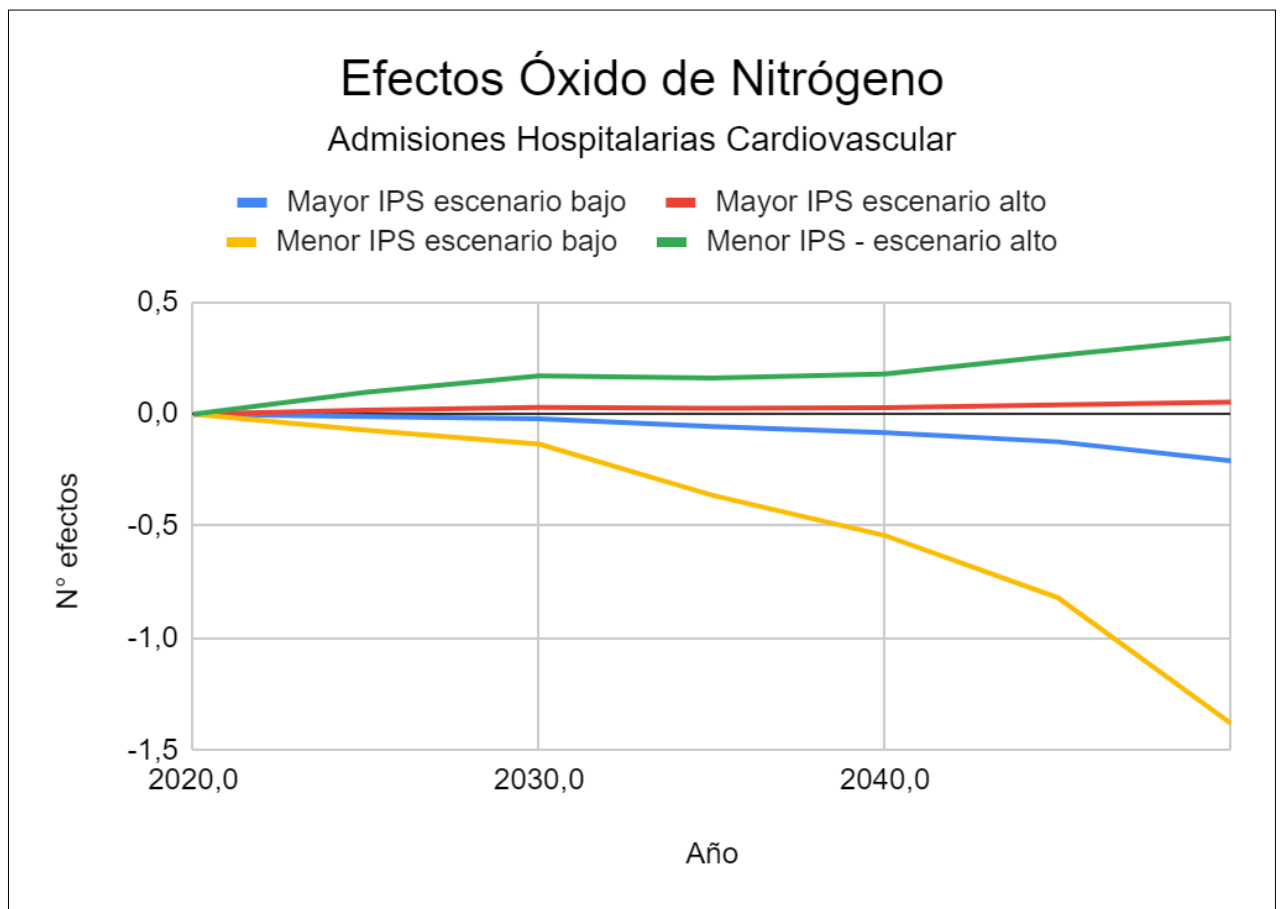


Gráfico 22: Co-beneficios en admisión hospitalaria neumonía NOx escenario bajo vs escenario alto en las comunas alta prioridad social vs comunas sin prioridad social [Elaboración propia]

El gráfico n°22 tiene resultados similares al gráfico anterior. Las comunas de alta prioridad social tienen co-beneficios negativos y decrecientes en el escenario bajo, cercanos a -0,2, y cercanos a 0,1 en el escenario alto. Por el contrario, las comunas sin prioridad social tienen co-beneficios cercanos a 0 en el escenario bajo y levemente superiores a 0,2 en el escenario alto.

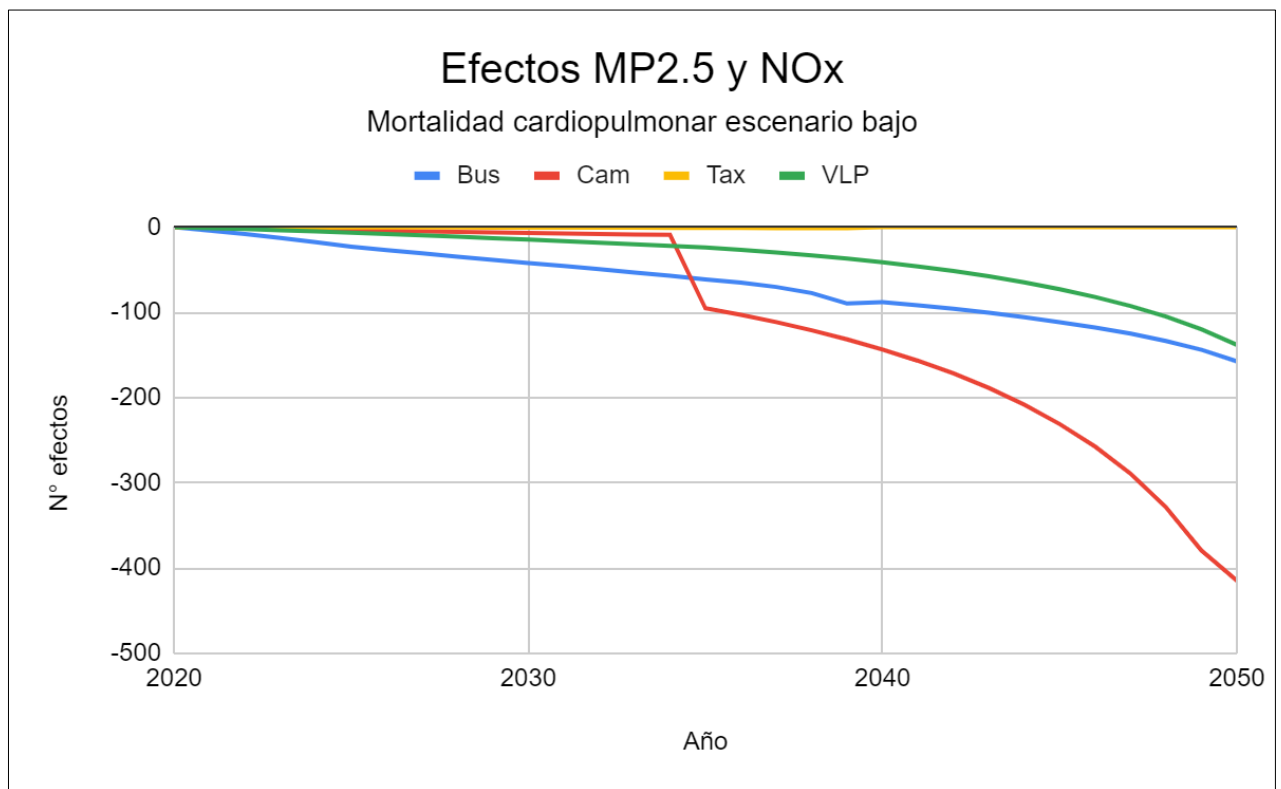
Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.4 CO-BENEFICIOS EN SALUD POR MODO VEHICULAR

En este apartado se presentan los co-beneficios según el modo vehicular: Bus, camión, taxi y vehículo liviano de pasajeros. Para ello, primero se encuentran los efectos en mortalidad, y luego, los efectos en admisión hospitalaria por causas cardiovasculares y neumonía. Estos casos consideran el total de efectos de Material Particulado 2.5 y de Óxido de Nitrógeno.

5.4.1 CO-BENEFICIOS POR MODO VEHICULAR ESCENARIO BAJO

Los co-beneficios en mortalidad cardiopulmonar determinados por el modo vehicular en el escenario bajo son los siguientes:



*Gráfico 23: Co-beneficios en mortalidad por modo vehicular escenario bajo Región Metropolitana
[Elaboración propia]*

En el gráfico n°23 se refleja que para los modos vehiculares Bus, Camión, Taxi y Vehículo Liviano de Pasajeros los co-beneficios son decrecientes y negativos en el periodo 2020-2050. En el caso del modo vehicular Bus, los co-beneficios en 2050 se encuentran cerca de los -157 co-beneficios; en el modo vehicular Camión, los co-beneficios sufren una caída luego de 2035, y rodeando los -414 co-beneficios en 2050; el modo vehicular Taxi, mantiene sus co-beneficios entre a 0 y -1,5 durante todo el periodo estudiado; y el modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, tiene una curva en constante decrecimiento, acercándose a los -138 co-beneficios en 2050.

Los co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular determinados por el modo vehicular en el escenario bajo son los siguientes:

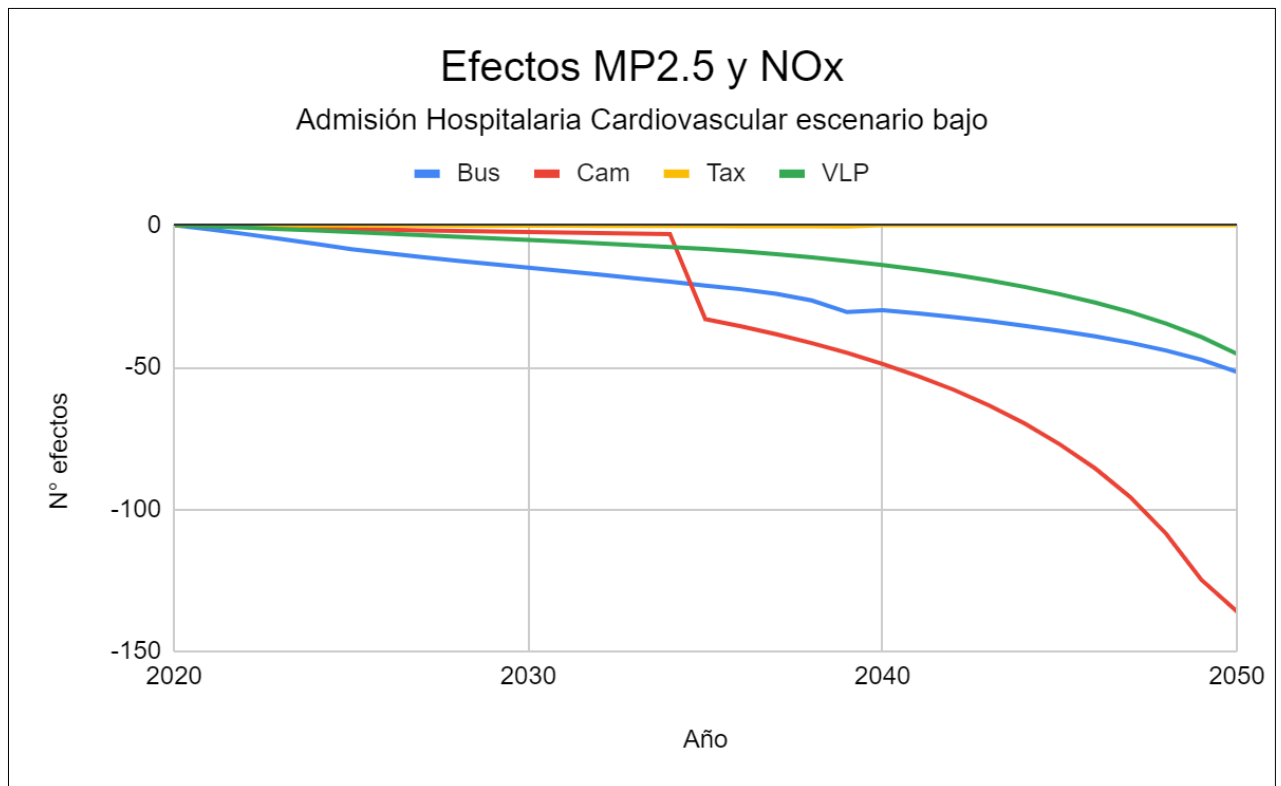
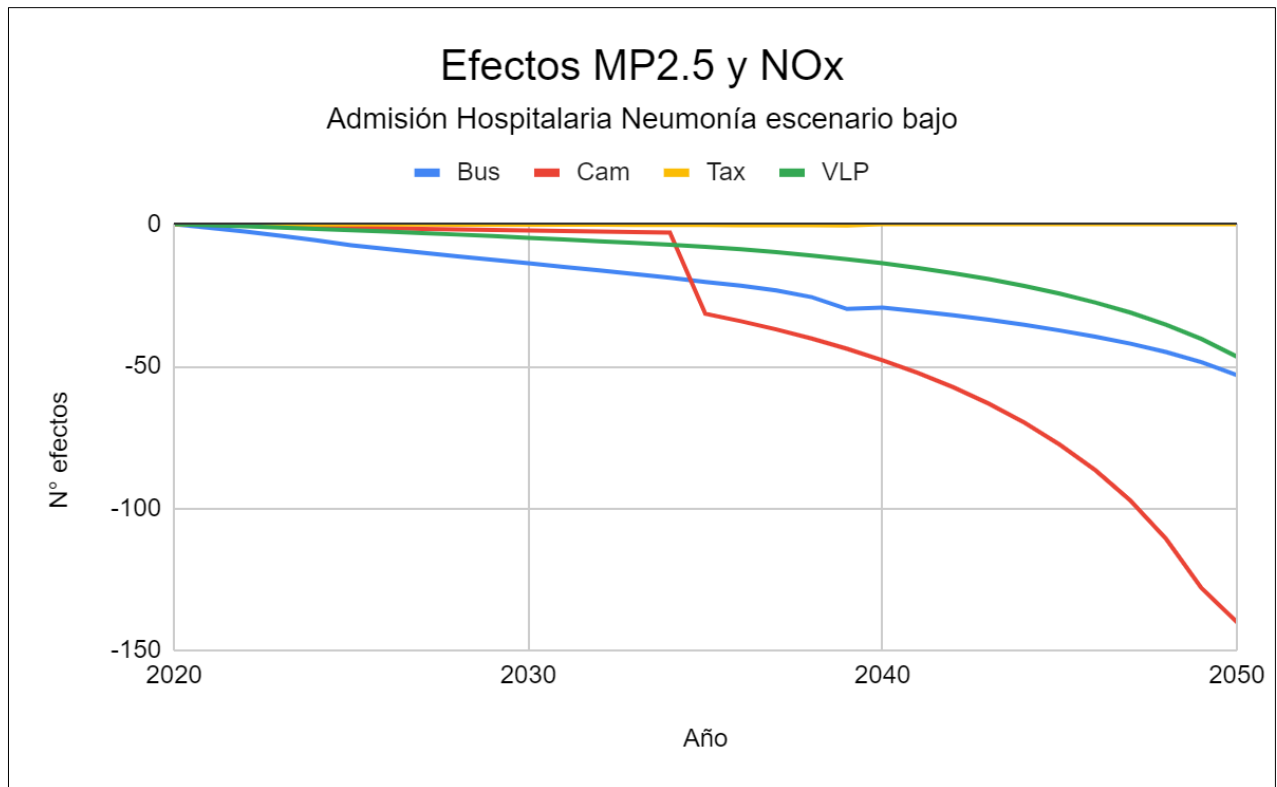


Gráfico 24: Co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular por modo vehicular escenario bajo Región Metropolitana [Elaboración propia]

El gráfico n°24 sigue la misma tendencia que el gráfico anterior, con diferencia en las magnitudes, siendo estos co-beneficios numéricamente inferiores. Para el modo vehicular Bus, los co-beneficios en 2050 se encuentran cerca de los -52 co-beneficios; en el modo vehicular Camión, los co-beneficios sufren una caída luego de 2035, y alcanzando -135 co-beneficios en 2050; el modo vehicular Taxi, mantiene sus co-beneficios entre 0 y -1 durante todo el periodo estudiado; el modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, tiene una curva en constante decrecimiento, acercándose a los -45 co-beneficios en 2050.

Los co-beneficios en admisión hospitalaria neumonía determinados por el modo vehicular en el escenario bajo son los siguientes:



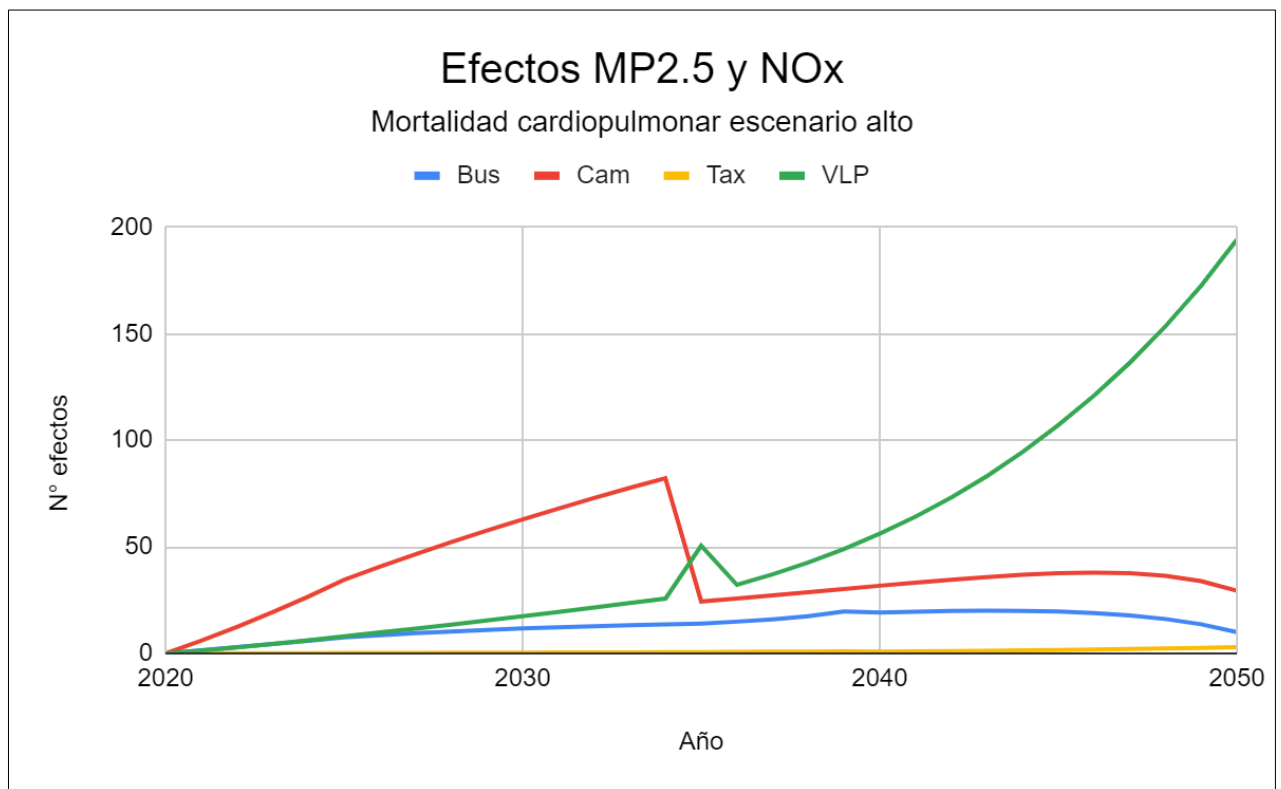
*Gráfico 25: Co-beneficios en admisión hospitalaria neumonía por modo vehicular escenario bajo
Región Metropolitana [Elaboración propia]*

Para el 2050, del modo vehicular Bus resultan co-beneficios de -53 aproximadamente; del modo vehicular Camión resultan co-beneficios que tienen una caída luego de 2035, alcanzando -139 aproximadamente; del modo vehicular Taxi, mantiene sus co-beneficios entre 0 y -1 durante todo el periodo estudiado; y del modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, se generan co-beneficios de -46 aproximadamente.

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.4.2 CO-BENEFICIOS POR MODO VEHICULAR ESCENARIO ALTO

Los co-beneficios en mortalidad determinados por el modo vehicular en el escenario alto son los siguientes:



*Gráfico 26: Co-beneficios en mortalidad por modo vehicular escenario alto Región Metropolitana
[Elaboración propia]*

En el gráfico n°26 se refleja que para los modos vehiculares Bus, Camión, Taxi y Vehículo Liviano de Pasajeros los co-beneficios todos positivos en el periodo 2020-2050. En el caso del modo vehicular Bus, los co-beneficios llegan a su punto más alto en 2039, alcanzando los 19 efectos; el modo vehicular Camión alcanza su punto más alto de co-beneficios en 2034, con 82 efectos, y decreciendo hasta 2050 y alcanzar los 29 efectos; el modo vehicular Taxi, alcanza su punto más alto de co-beneficios en 2050, acercándose a 3 efectos; y el modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, tiene una curva en constante crecimiento, acercándose a los 194 co-beneficios en 2050.

Los co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular determinados por el modo vehicular en el escenario alto son los siguientes:

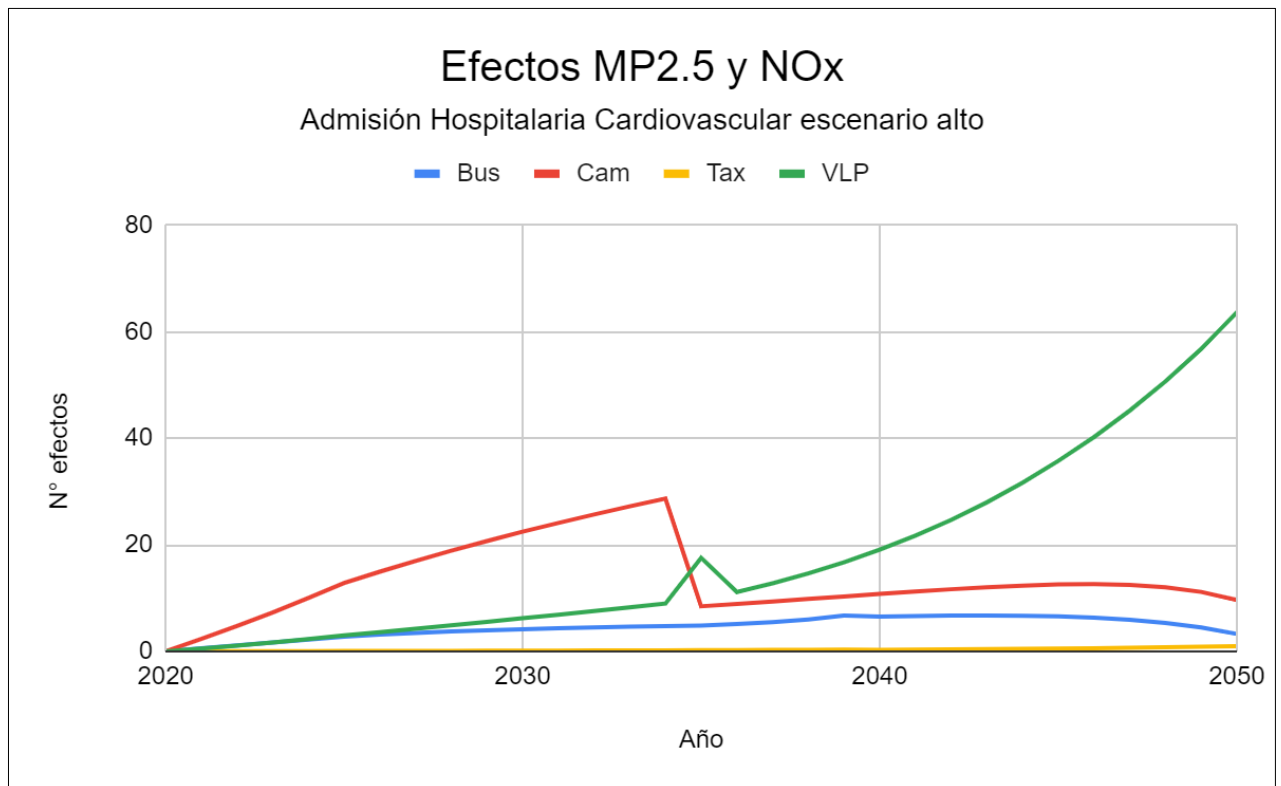


Gráfico 27: Co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular por modo vehicular escenario alto Región Metropolitana [Elaboración propia]

El gráfico n°27 sigue la misma tendencia que el gráfico anterior. Para el modo vehicular Bus, los co-beneficios en 2050 se encuentran cerca de los 3 luego de haber alcanzado su punto más alto en 2043 con 6 co-beneficios; en el modo vehicular Camión, los co-beneficios aumentan hasta 2034, alcanzando los 28 efectos, para luego decaer, y llegar en 2050 a los 9 efectos; el modo vehicular Taxi tiene una curva que crece lentamente en el periodo 2020-2050, acercándose a 1 efecto en el último año; y el modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, tiene una curva en constante crecimiento, acercándose a los 63 co-beneficios en 2050.

Los co-beneficios en admisión hospitalaria neumonía determinados por el modo vehicular en el escenario alto son los siguientes:

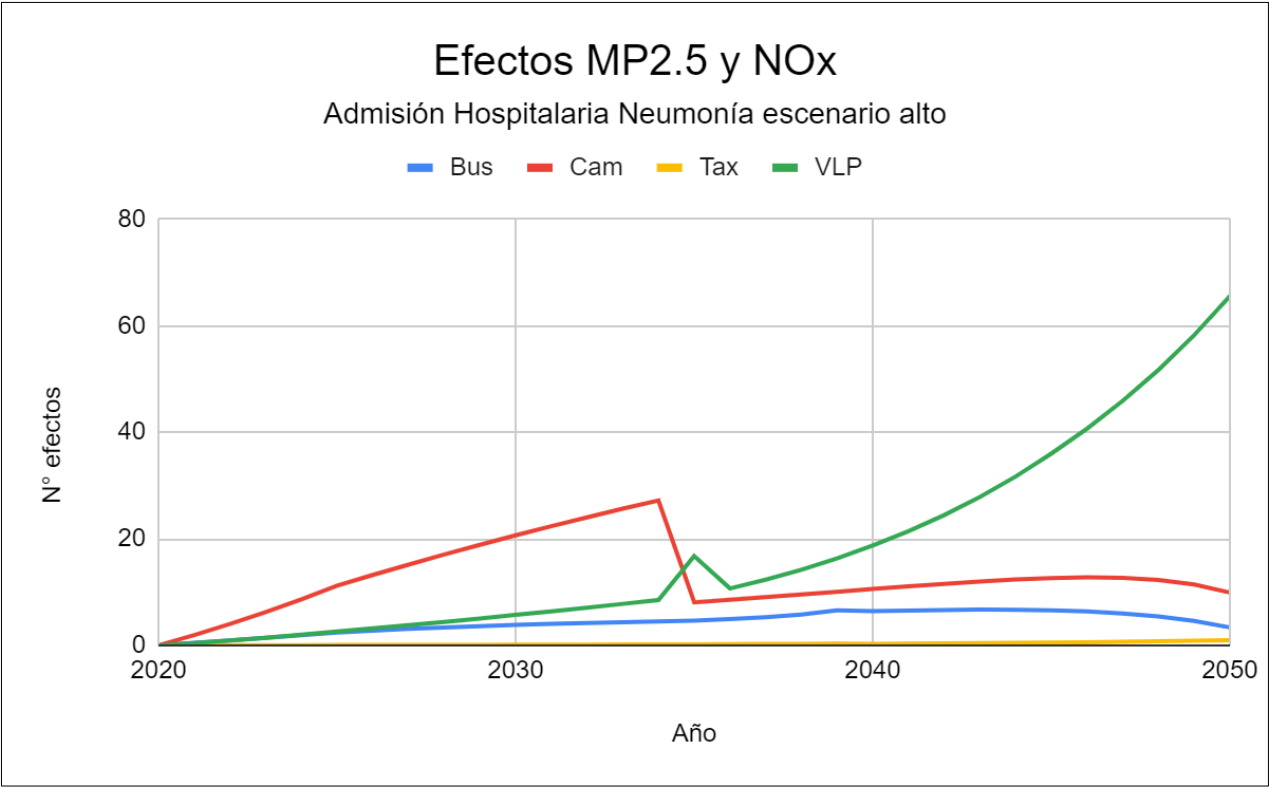


Gráfico 28: Co-beneficios en admisión hospitalaria neumonía por modo vehicular escenario alto
Región Metropolitana [Elaboración propia]

El gráfico n°28 continúa la tendencia de las admisiones hospitalarias cardiovasculares. Para el 2039, del modo vehicular Bus resultan 6 co-beneficios y para el 2050 alcanzan los 3 co-beneficios; del modo vehicular Camión resultan co-beneficios que tienen un alza hasta 2034, alcanzando 27 efectos, y para 2050 sus efectos alcanzan los 9; del modo vehicular Taxi se desprenden co-beneficios con una leve y constante alza en el periodo 2020-2050, alcanzando en el último año 1 efecto; y del modo vehicular Vehículo Liviano de Pasajero, se generan co-beneficios de 65 efectos en 2050.

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.5 VALOR ECONÓMICO DE LOS CO-BENEFICIOS EN SALUD

En este apartado se presenta la valoración económica de los efectos obtenidos. La valoración de efectos se presenta de manera gráfica para mortalidad cardiopulmonar, admisión hospitalaria por causas cardiovasculares y neumonía, por contaminante, escenarios y origen de la emisión.

Para este capítulo, también se considerará la equivalencia de Unidad de Fomento a dólar americano, considerando el valor promedio de agosto de 2024. Esta conversión tiene la siguiente equivalencia:

- 1 UF: \$37.638,55 [70]
- 1 dólar americano: \$929,9 [69]

Por lo tanto, 1 UF = 40,48 dólares.

5.5.1 VALOR TOTAL DE LOS CO-BENEFICIOS POR ESCENARIO

La valoración, en Unidad de Fomento (UF) de los co-beneficios en mortalidad, presentados anteriormente, para Material Particulado 2.5, es:

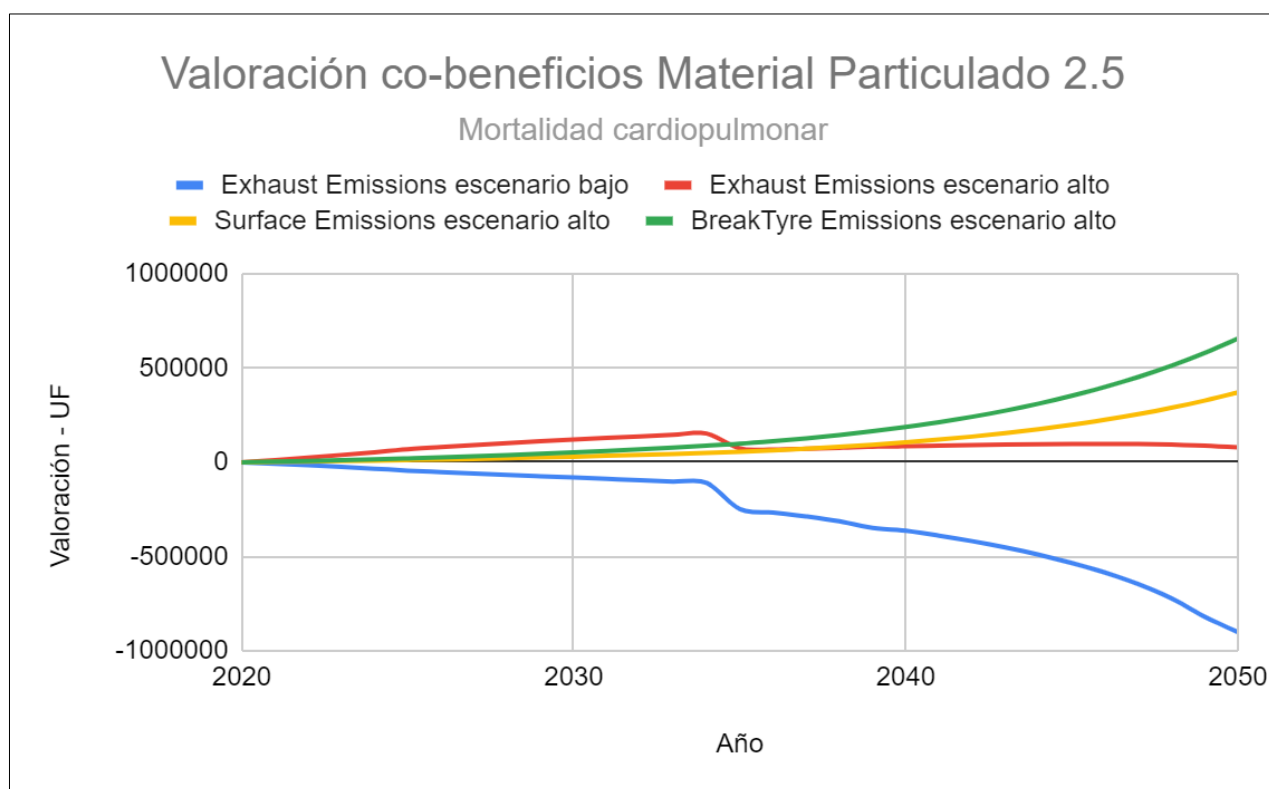


Gráfico 29: Valoración en mortalidad $MP_{2.5}$ escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -900.722 UF (U\$ - 36.409.153) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 78.612 UF (U\$ 3.181.622) en su punto más alto en 2050. Las emisiones de superficie en el escenario alto alcanzan un beneficio de 370.417 UF (U\$ 14.986.870) en 2050 y las emisiones de freno alcanzan un beneficio de 656.447 UF (U\$ 26.579.315) en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en mortalidad, presentados anteriormente, para Óxido de Nitrógeno, es:

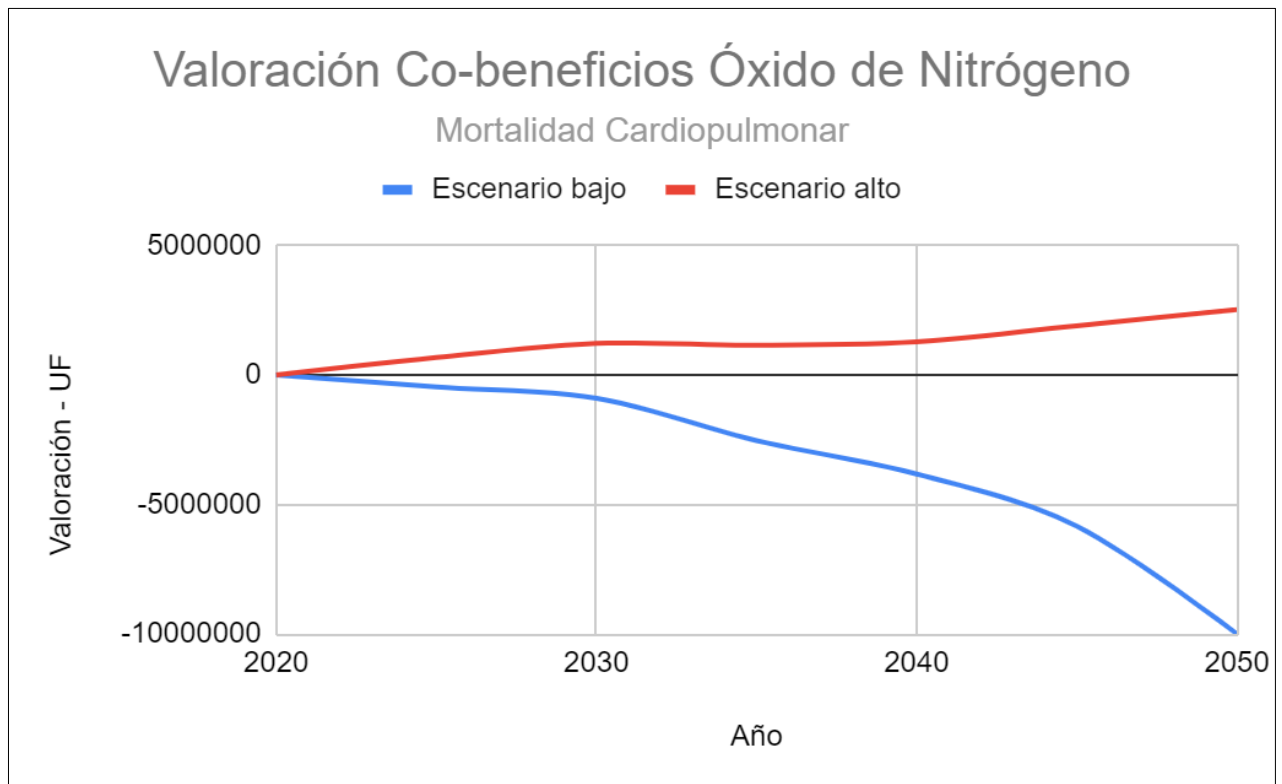


Gráfico 30: Valoración en mortalidad NO_x escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -11.583.384 UF (U\$ - 469.008.064) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 2.524.078 UF (U\$ 102.169.217) en su punto más alto en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias cardiovasculares, presentados anteriormente, para Material Particulado 2.5, es:

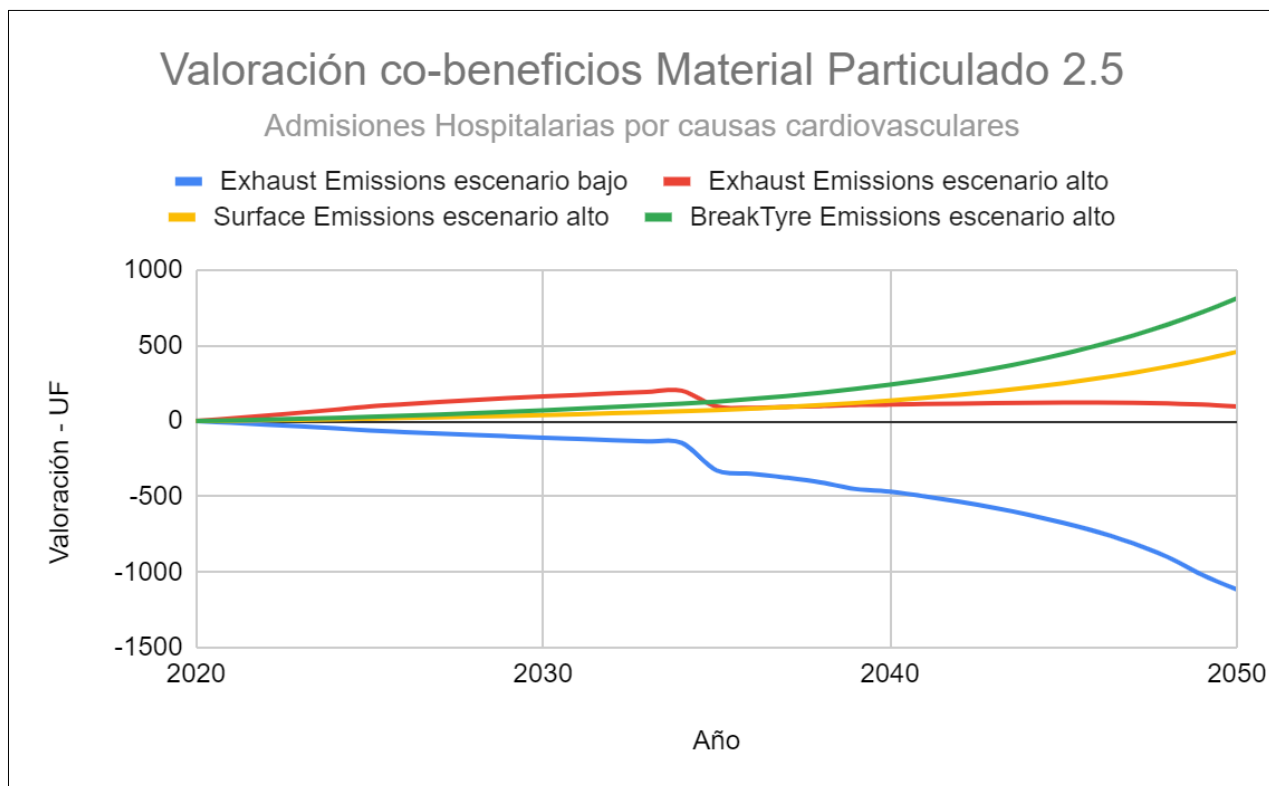


Gráfico 31: Valoración en admisiones hospitalarias cardiovasculares $MP_{2.5}$ escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -1.115 UF (U\$ - 45.137) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 97 UF (U\$ 3.926) en 2050. Las emisiones de superficie en el escenario alto alcanzan un beneficio de 458 UF (U\$ 18.533) en 2050 y las emisiones de freno alcanzan un beneficio de 813 UF (U\$ 32.902) en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias cardiovasculares, presentados anteriormente, para Óxido de Nitrógeno, es:

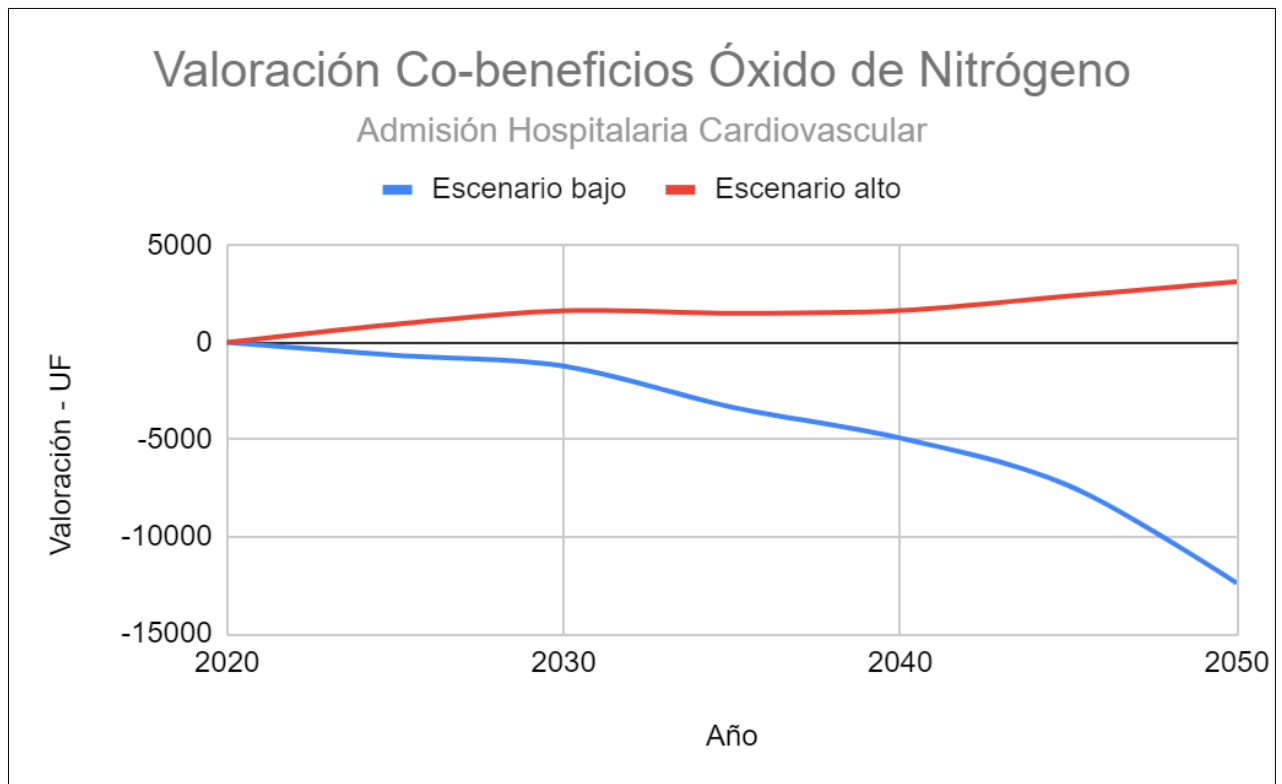


Gráfico 32: Valoración en admisiones hospitalarias cardiovasculares NOx escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -12.381 UF (U\$ 501.339) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 3.126 UF (U\$ 126.509) en su punto más alto en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias por neumonía, presentados anteriormente, para Material Particulado 2.5, es:

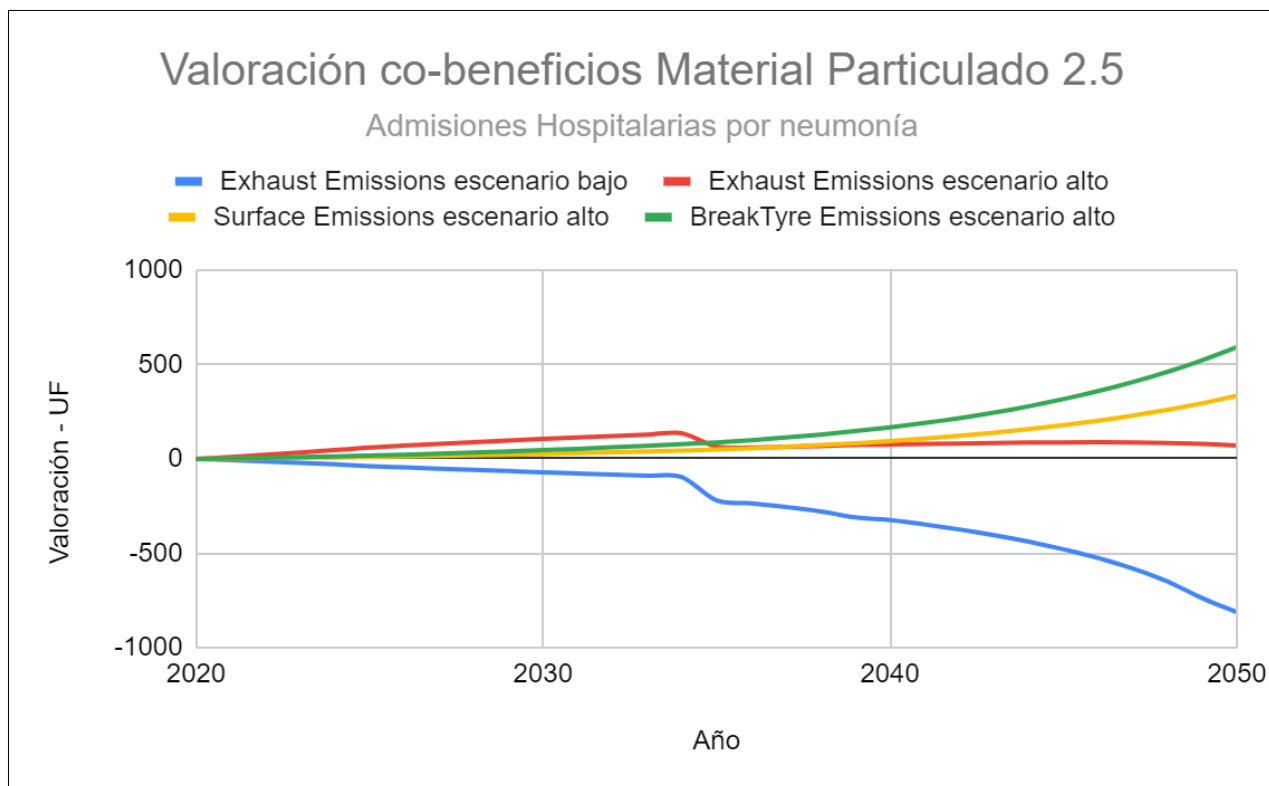


Gráfico 33: Valoración en admisiones hospitalarias por neumonía $MP_{2.5}$ escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -812 UF (U\$ - 32.858) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 70 UF (U\$ 2.833) en su punto más alto en 2050. Las emisiones de superficie en el escenario alto alcanzan un beneficio de 334 UF (U\$ 13.525) en 2050 y las emisiones de freno alcanzan un beneficio de 592 UF (U\$ 23.964) en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias por neumonía, presentados anteriormente, para Óxido de Nitrógeno, es:

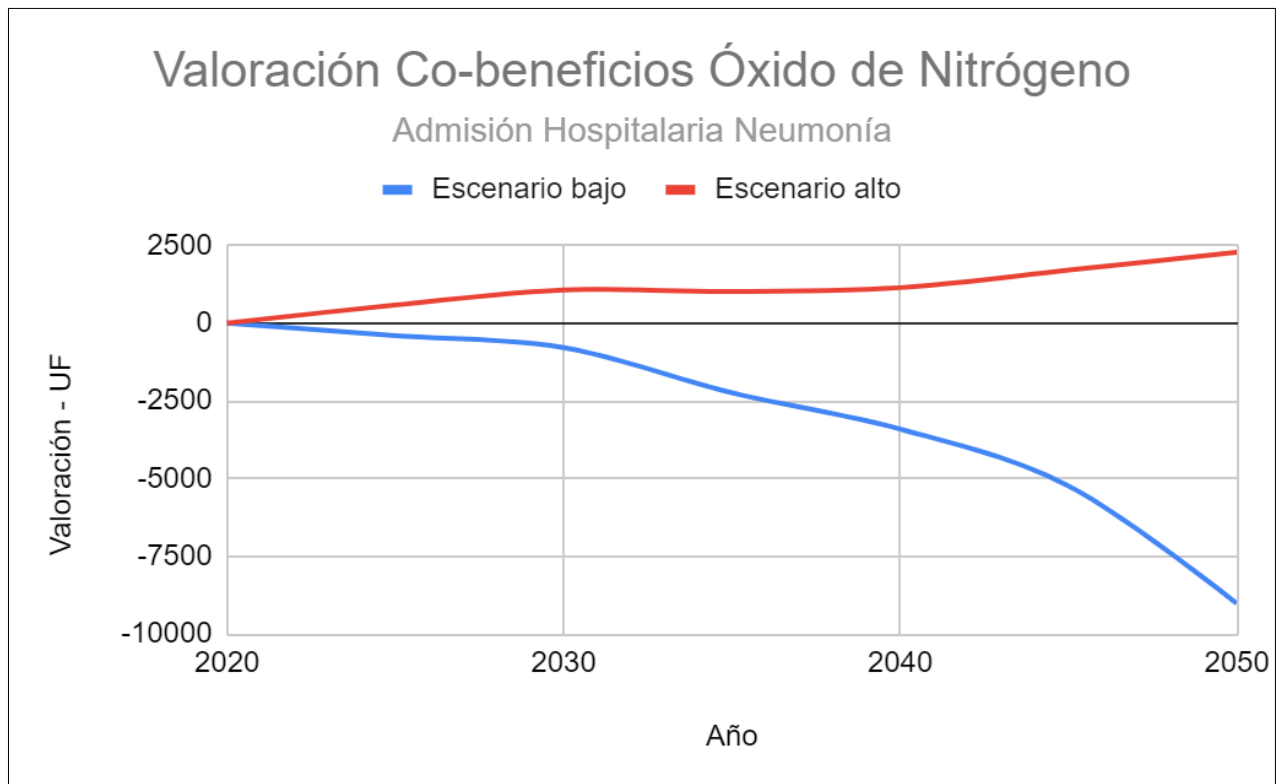


Gráfico 34: Valoración en admisiones hospitalarias por neumonía NOx escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones provenientes de escape en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -9.017 UF (US\$ -365.073) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 2.277 UF (US\$ 92.202) en su punto más alto en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en mortalidad cardiovascular, para Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno en conjunto:

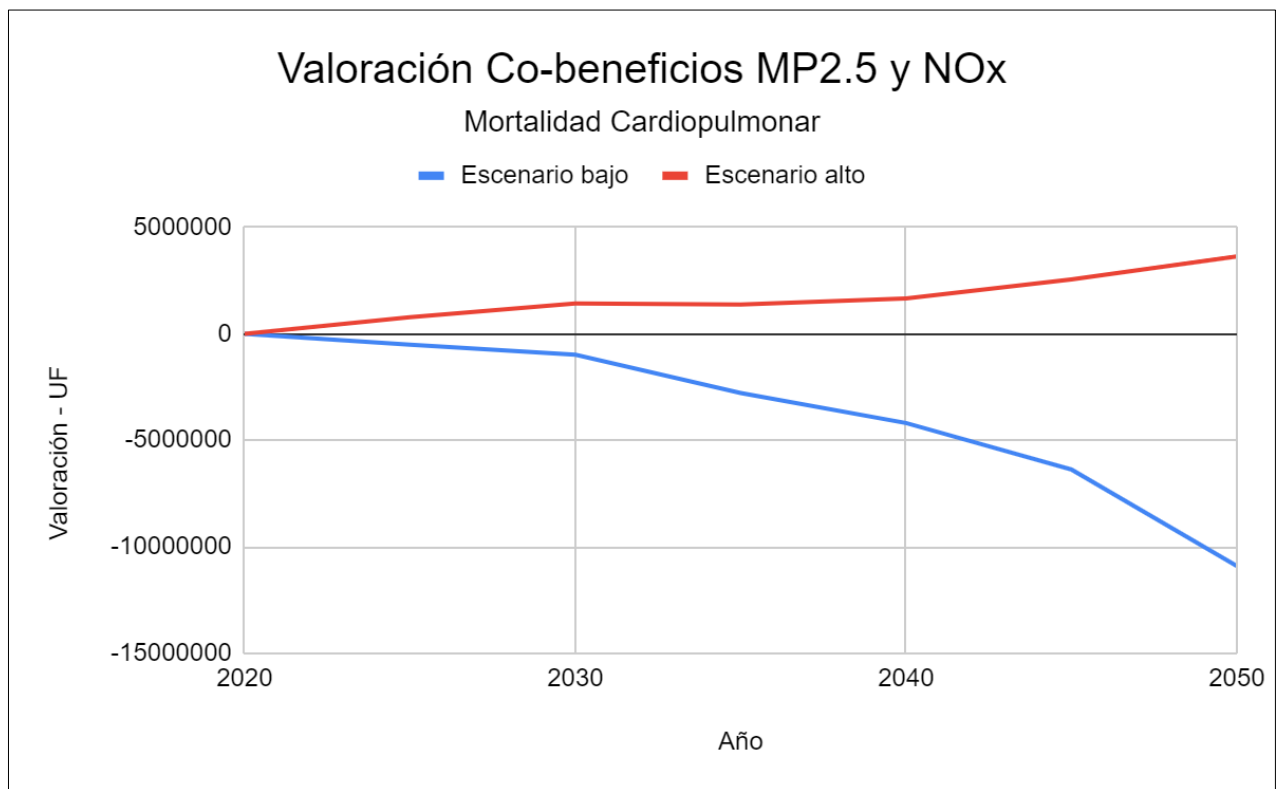


Gráfico 35: Valoración mortalidad cardiovascular $MP_{2.5}$ y NO_x escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las emisiones en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -10.897.154 UF (U\$ - 440.755.754) en su punto más bajo en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 3.629.555 UF (U\$ 146.866.566) en su punto más alto en 2050.

La valoración en UF de los co-beneficios en admisión hospitalaria cardiovascular y neumonía, para Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno en conjunto:

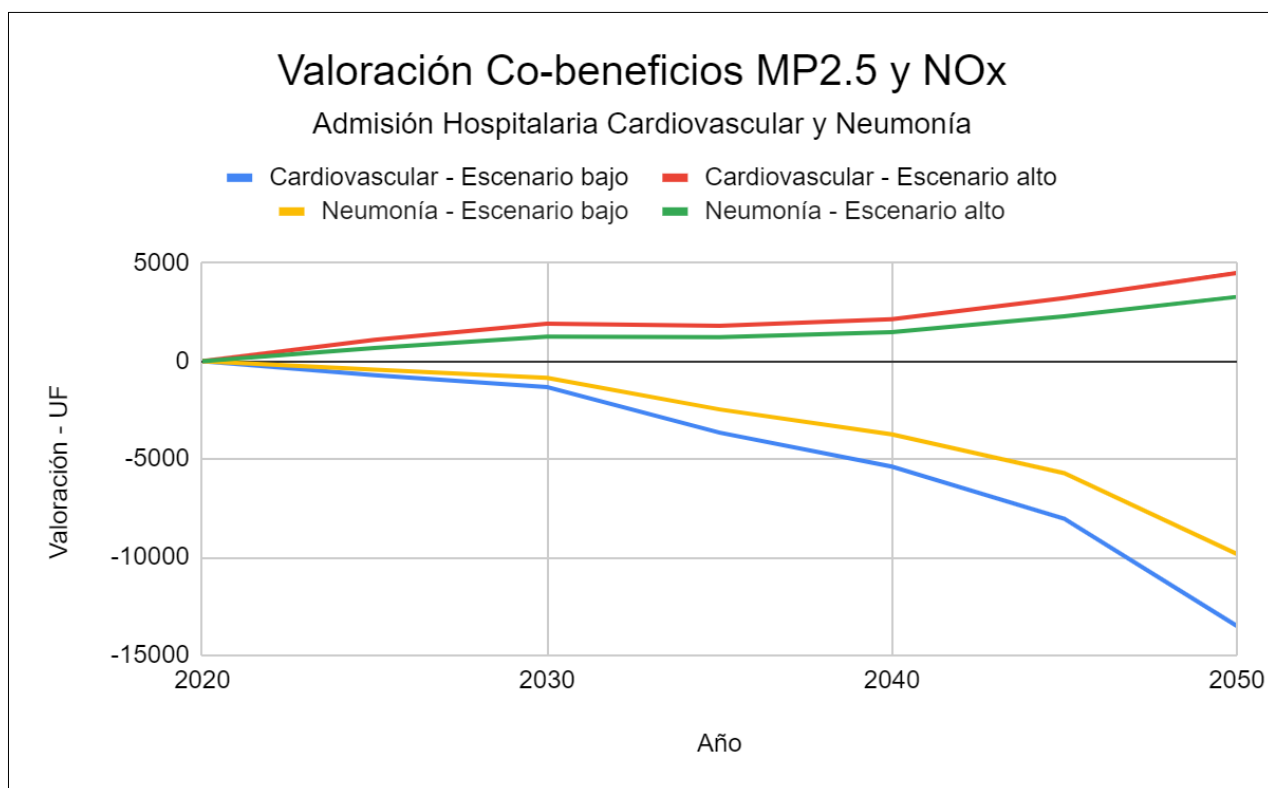


Gráfico 36: Valoración admisiones hospitalarias $MP_{2.5}$ y NO_x escenario bajo vs escenario alto en la Región Metropolitana [Elaboración propia]

La valoración de las admisiones hospitalarias cardiovascular en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -13.496 UF (U\$ -546.073) en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 4.495 UF (U\$ 181.946) en 2050. La valoración de las admisiones hospitalarias neumonía en el escenario bajo resulta en una valoración negativa, alcanzando un beneficio de -9.830 UF (U\$ -397.918) en 2050, mientras que, en escenario alto, alcanza un beneficio de 3.274 UF (U\$ 132.497) en 2050.

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

5.5.2 VALOR TOTAL DE LOS CO-BENEFICIOS SEGÚN EL ÍNDICE DE PRIORIDAD SOCIAL COMUNAL

Considerando las comunas con mayor y menor índice de prioridad social mencionadas anteriormente, la valoración económica en UF de los co-beneficios de mortalidad cardiopulmonar para Material Particulado 2.5 es:

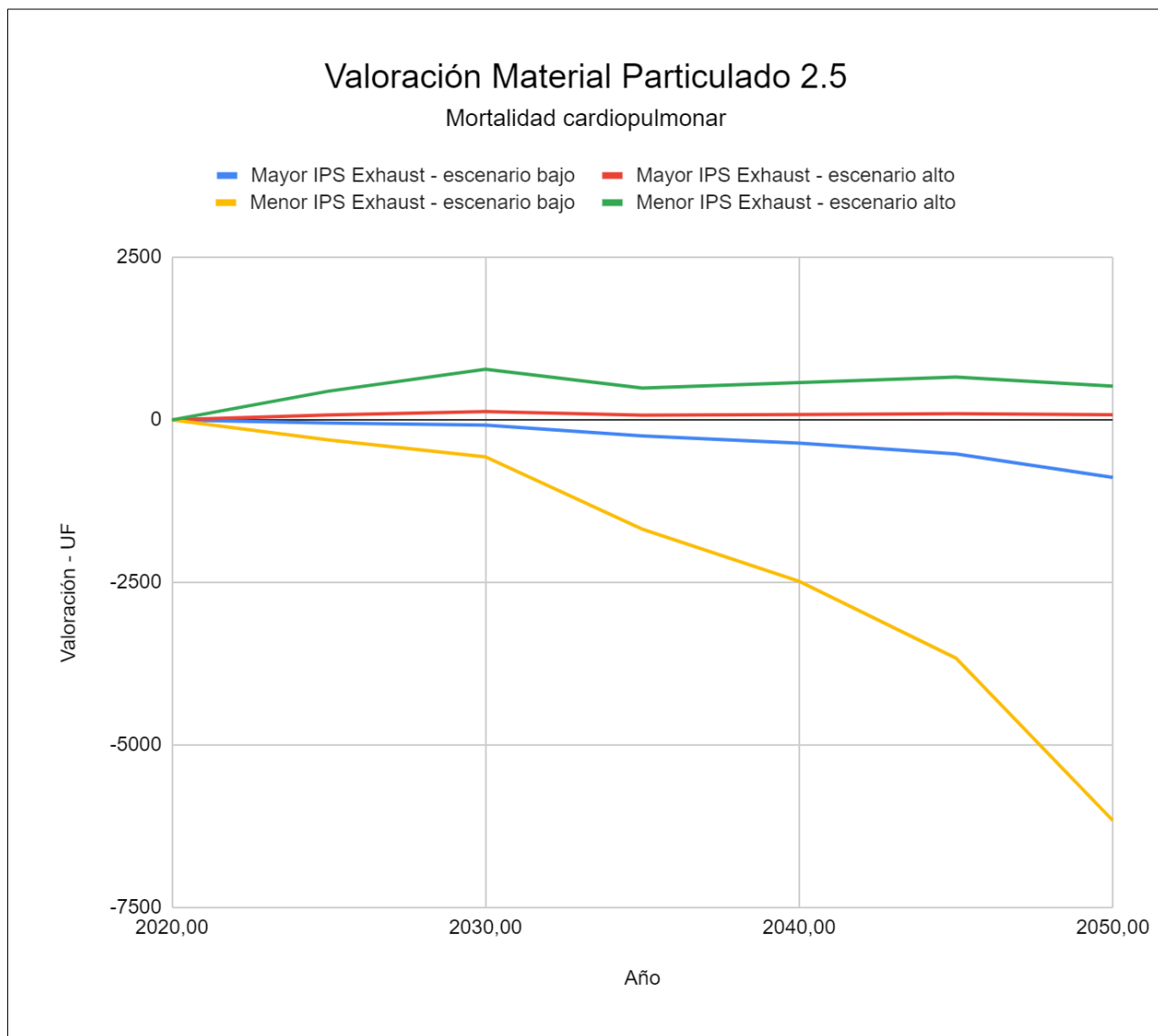


Gráfico 37: Valoración en mortalidad MP_{2.5} Exhaust Emissions escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -884 UF (U\$ -35.784), y para el escenario alto es de 78 UF (U\$ 3.157).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas sin prioridad social en el escenario bajo es de -6.159 UF (U\$ -249.316), y para el escenario alto es de 519 UF (U\$ 21.009).

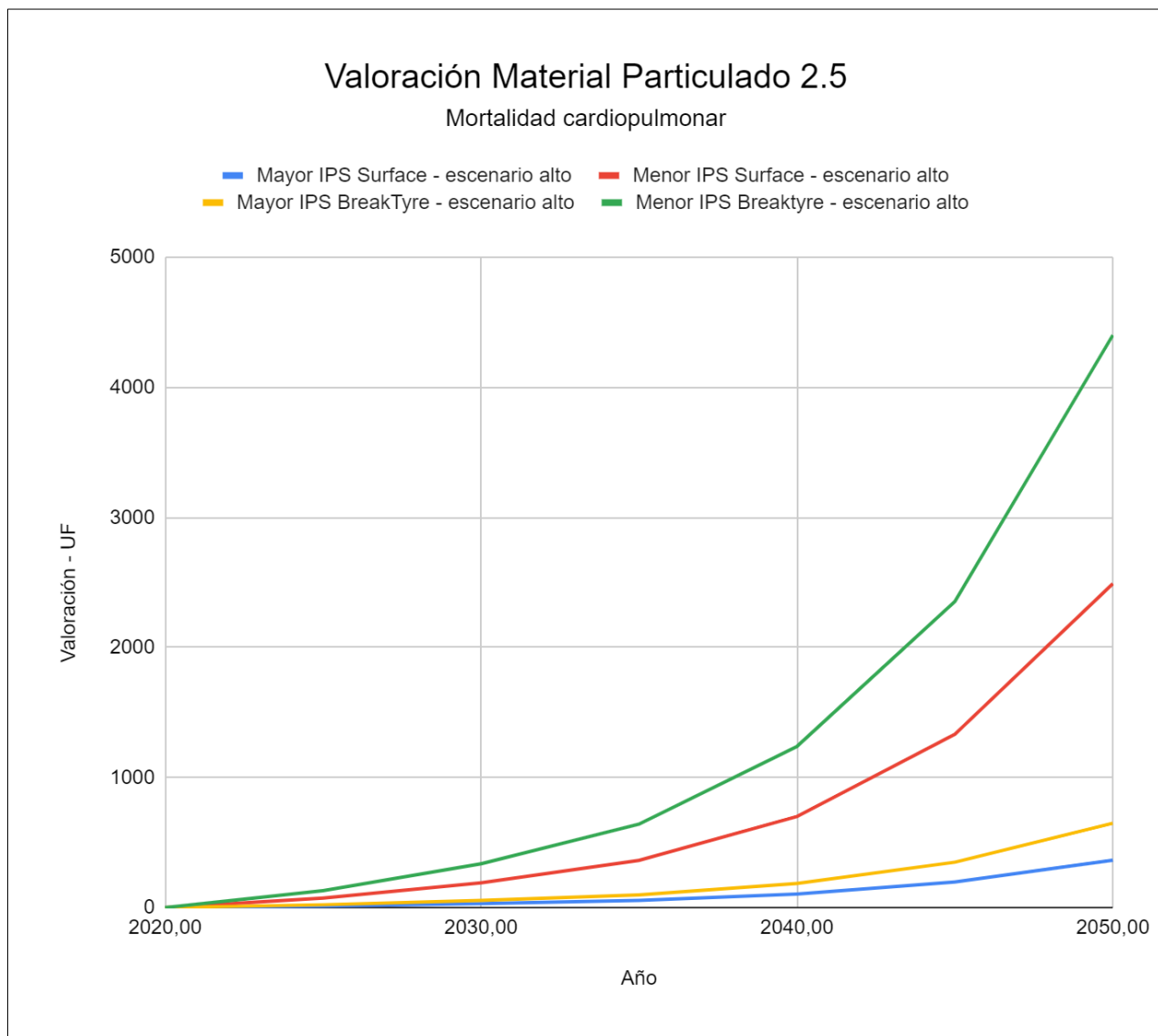


Gráfico 38: Valoración en mortalidad $MP_{2.5}$ Surface y Breaktyre Emissions escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios Surface para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 365 UF (U\$ 14.775), y para las comunas de menor índice de prioridad social es de 2.490 UF (U\$ 100.795).

La valoración de los co-beneficios BreakTyre para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 649 UF (U\$ 26.272), y para las comunas de sin prioridad social es de 4.401 UF (U\$ 178.152).

La valoración en UF de los co-beneficios en mortalidad, presentados anteriormente, para Óxido de Nitrógeno, es:

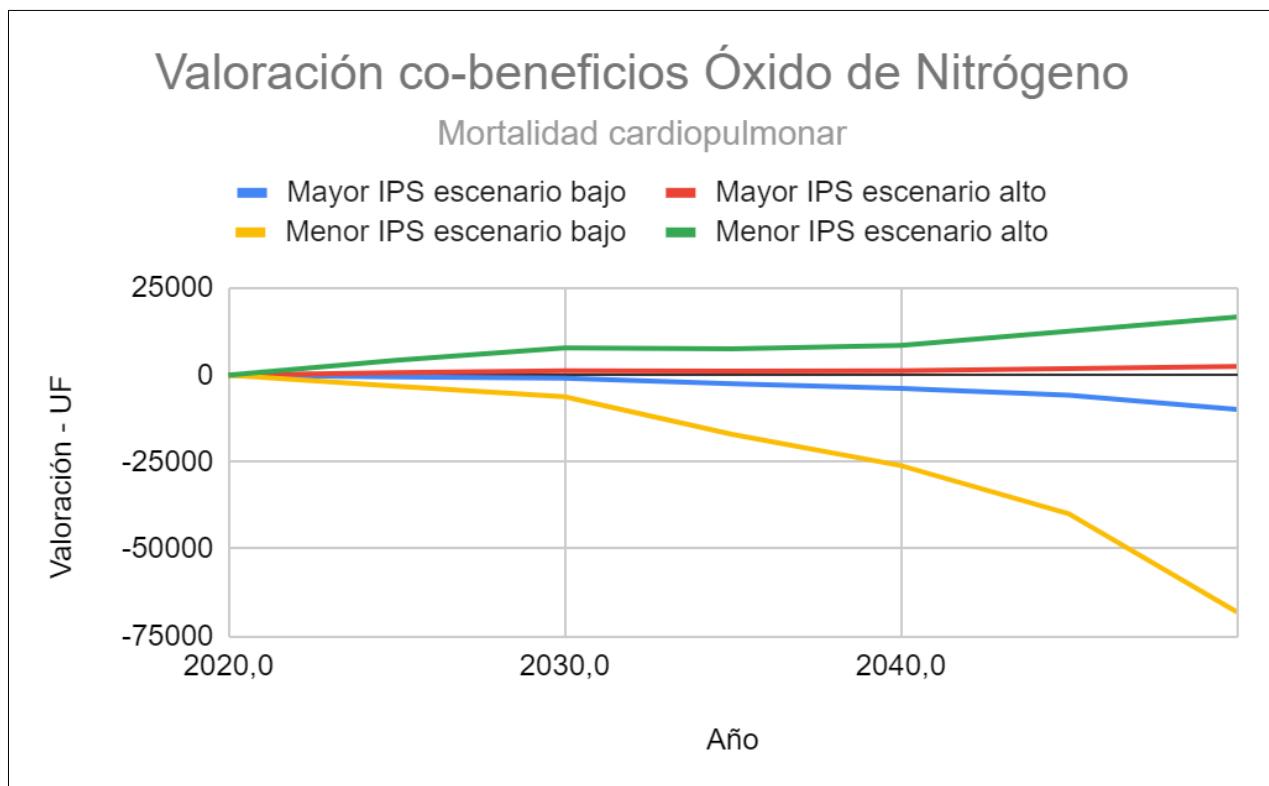


Gráfico 39: Valoración en mortalidad NOx escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -9.847 UF (U\$ -398.607), y para el escenario alto es de 2.531 UF (U\$ 102.455).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de menor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -68.032 UF (U\$ -2.753.935), y para el escenario alto es de 16.682 UF (U\$ 675.287).

Con respecto a la valoración económica en UF de los co-beneficios por admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares para Material Particulado 2.5 es:

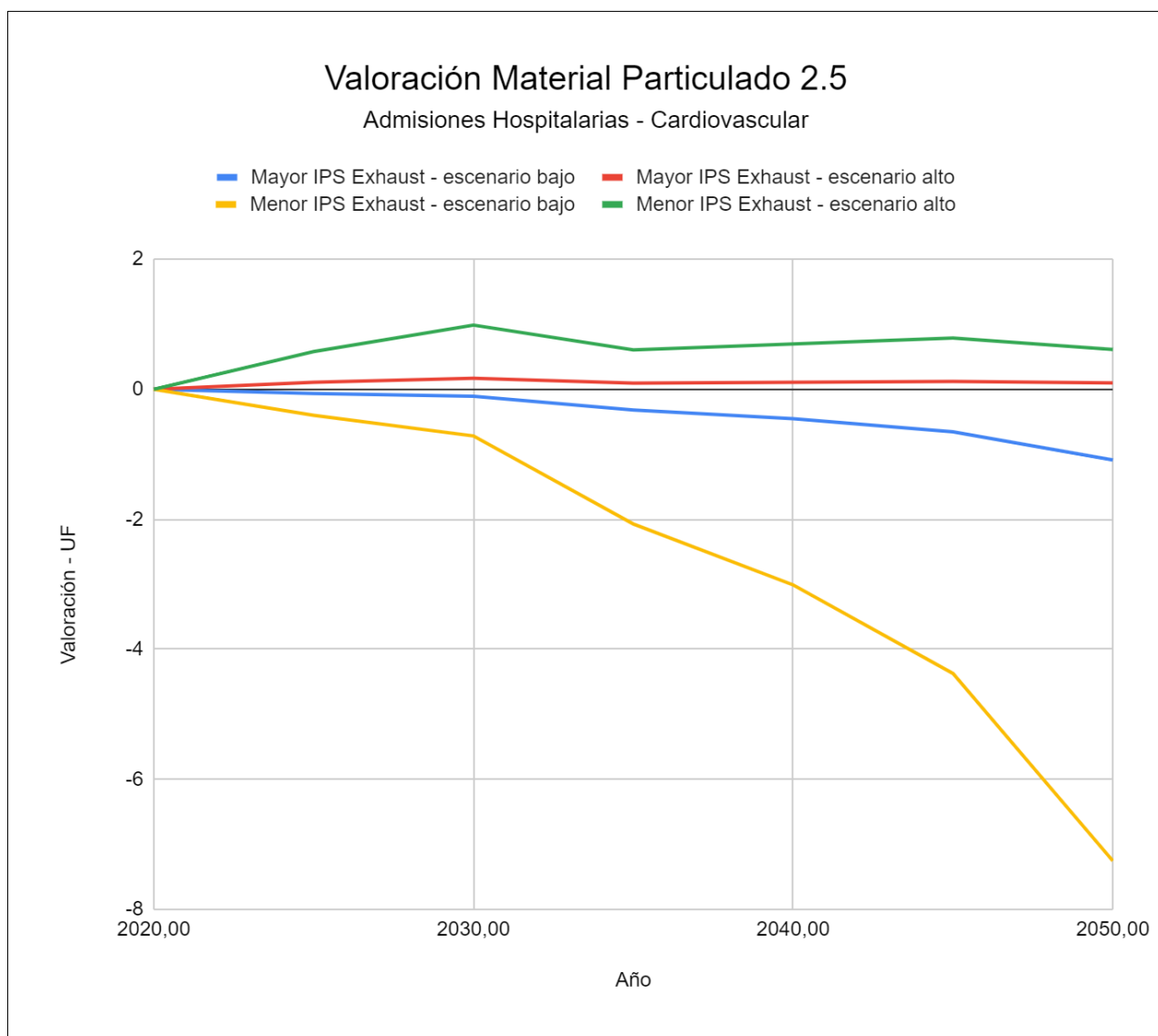


Gráfico 40: Valoración en admisiones hospitalarias cardiovasculares MP_{2.5} Exhaust Emissions escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -1 UF (U\$ -40), y para el escenario alto es de 0,09 UF (U\$ 4).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de menor índice de prioridad social el escenario bajo es de -7 UF (U\$ -283), y para el escenario alto es de 0,6 UF (U\$ 24).

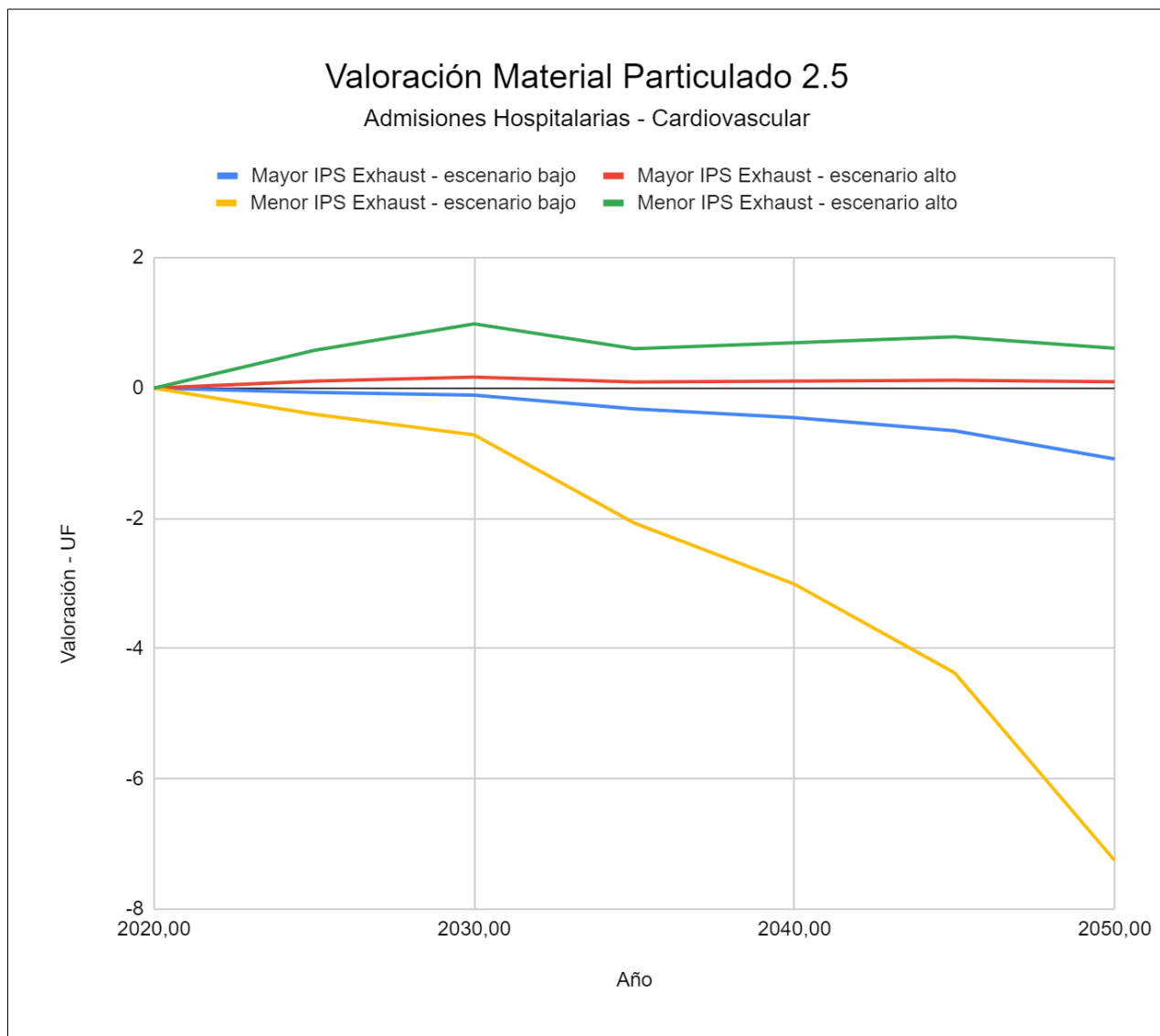


Gráfico 41: Valoración en admisiones hospitalarias cardiovasculares $MP_{2.5}$ Surface y BreakTyre Emissions escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios Surface para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 0,45 UF (U\$ 18), y para las comunas de menor índice de prioridad social es de 2,9 UF (U\$ 117).

La valoración de los co-beneficios BreakTyre para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 0,79 UF (U\$ 32), y para las comunas de menor índice de prioridad social es de 5 UF (U\$ 202).

Con respecto a la valoración económica en UF de los co-beneficios por admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares para Óxido de Nitrógeno es:

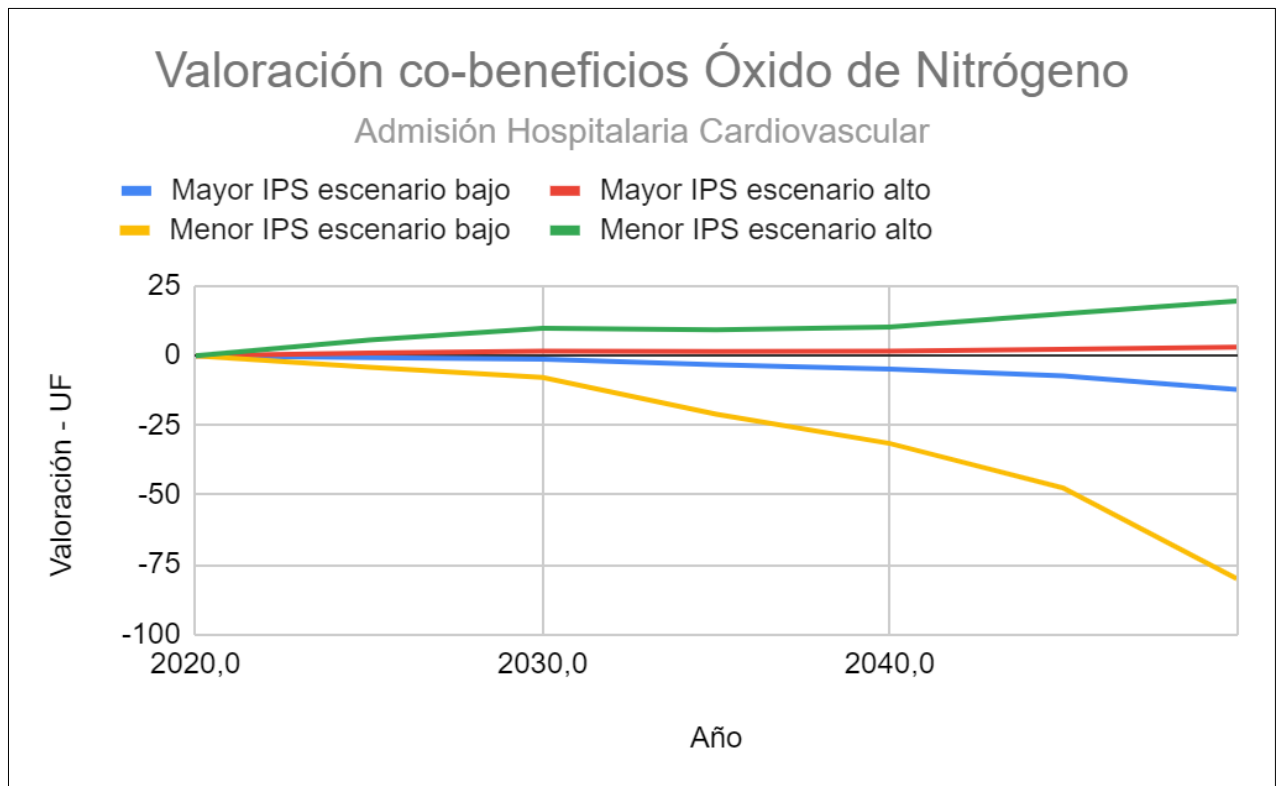


Gráfico 42: Valoración en admisiones hospitalarias cardiovasculares NOx escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -12 UF (US\$ -486), y para el escenario alto es de 3 UF (US\$ 120).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de menor índice de prioridad social el escenario bajo es de -80 UF (US\$ -3.238), y para el escenario alto es de 19 UF (US\$ 769).

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias por neumonía, para Material Particulado 2.5, es:

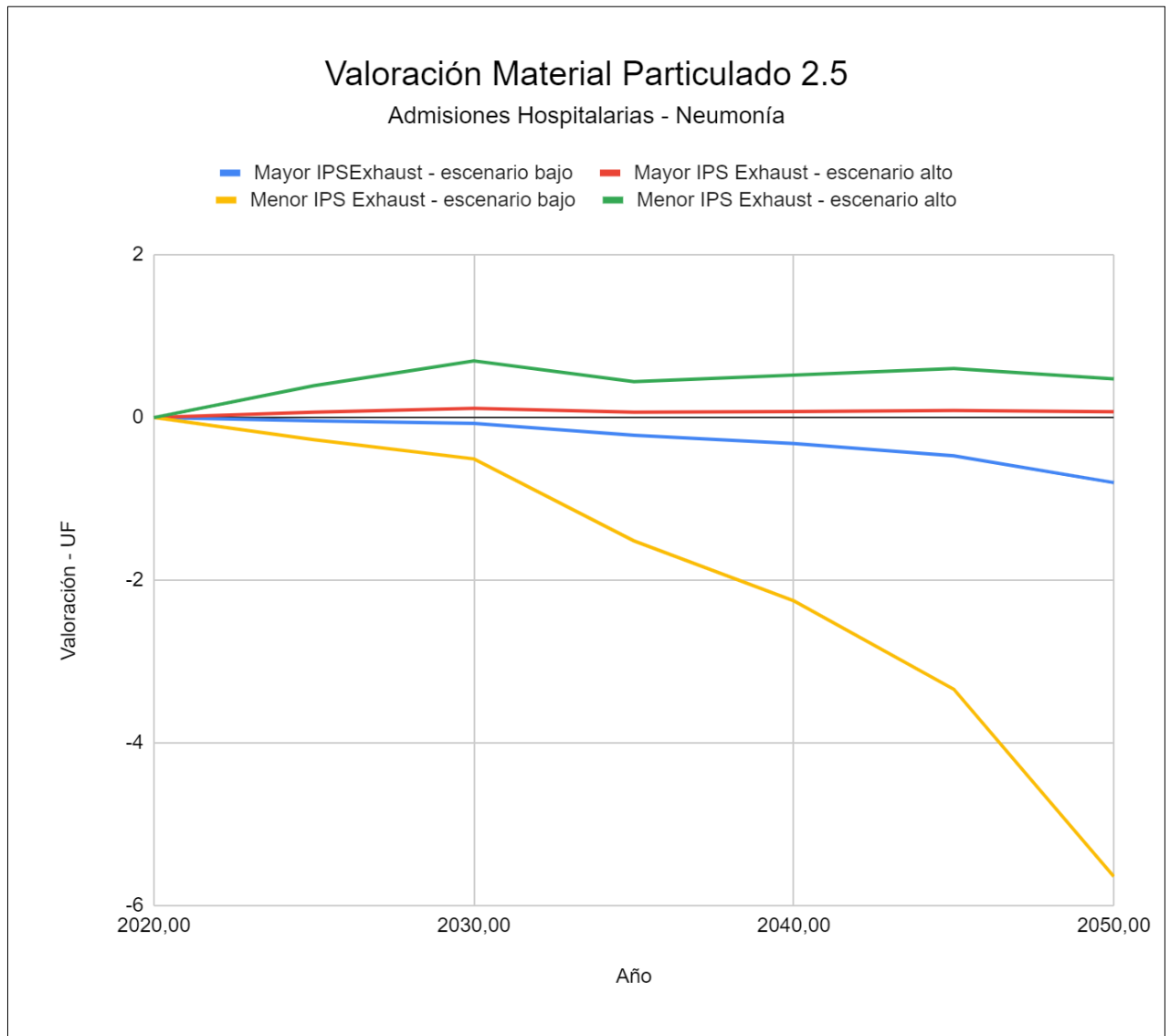


Gráfico 43: Valoración en admisiones hospitalarias por neumonía Exhaust Emissions $MP_{2.5}$ escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -0,8 UF (US\$ -32), y para el escenario alto es de 0,07 UF (US\$ 3).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de menor índice de prioridad social el escenario bajo es de -5 UF (US\$ -200), y para el escenario alto es de 0,4 UF (US\$ 16).

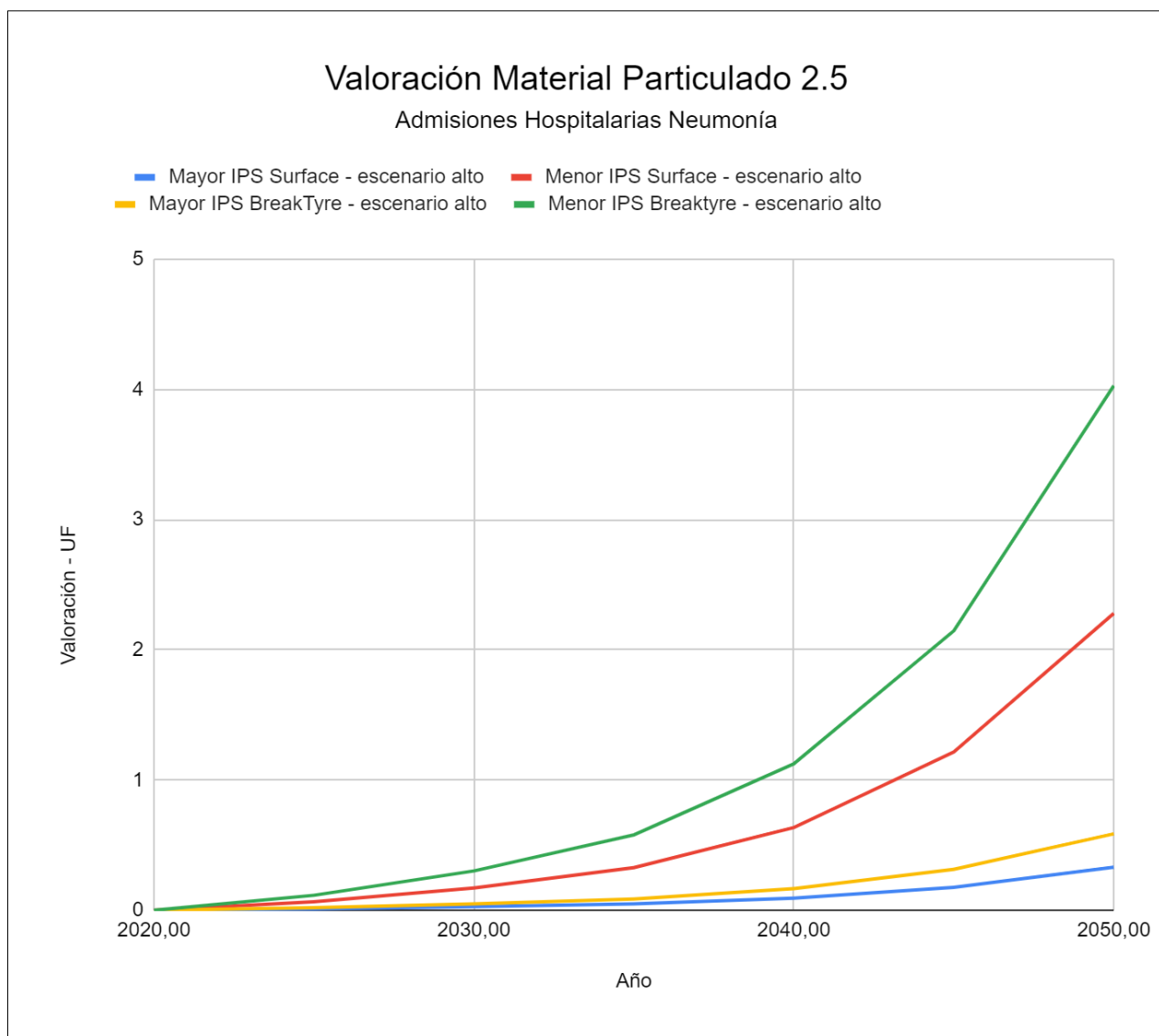


Gráfico 44: Valoración en admisiones hospitalarias por neumonía Surface y Breaktyre Emissions $MP_{2.5}$ escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios Surface para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 0,33 UF (U\$ 13), y para las comunas de menor índice de prioridad social es de 2 UF (U\$ 80).

La valoración de los co-beneficios BreakTyre para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social es de 0,58 UF (U\$ 23), y para las comunas de menor índice de prioridad social es de 4 UF (U\$ 160).

La valoración en UF de los co-beneficios en admisiones hospitalarias por neumonía, presentados anteriormente, para Óxido de Nitrógeno, es:

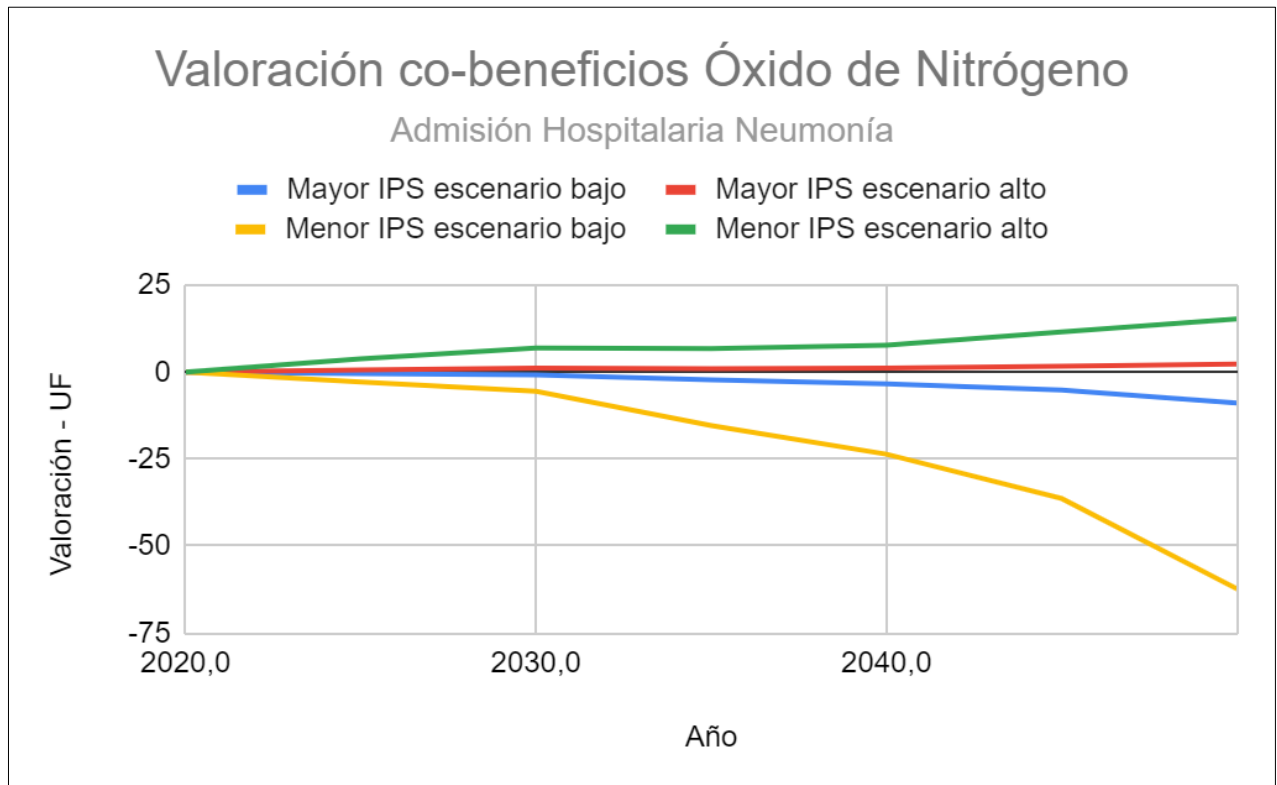


Gráfico 45: Valoración en admisiones hospitalarias por neumonía NOx escenario bajo vs escenario alto en comunas más y Menor IPS [Elaboración propia]

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de mayor índice de prioridad social en el escenario bajo es de -8 UF (US\$ -320), y para el escenario alto es de 2 UF (US\$ 80).

La valoración de los co-beneficios para 2050 obtenidos para las comunas de menor índice de prioridad social el escenario bajo es de -62 UF (US\$ -2.510), y para el escenario alto es de 15 UF (US\$ 607).

Las tablas con los resultados más específicos se encuentran en el anexo n°4

6. ANÁLISIS

Respecto de los contaminantes primarios cuyas emisiones directas e indirectas afectan a la salud (MP_{2.5} y NO_x), se observa una reducción en el periodo 2020-2050. Considerando la Región Metropolitana en su conjunto y solo las emisiones de Material Particulado 2.5, se evidencia una reducción del 7,31%, 20,49% y 36,6% de los escenarios NDC-, NDC y NDC+, respectivamente, destacando la estrictez de cada uno de ellos según la NDC del gobierno de Chile.

En el caso de las emisiones de Óxido de Nitrógeno, al provenir solo de escape, existe una reducción en el periodo 2020-2050, siendo una reducción de 56,76%, 80,57% y 86,59% de los escenarios NDC-, NDC y NDC+, respectivamente, reafirmando lo anterior.

Las reducciones en emisiones de NO_x son porcentualmente más significativas que las de MP_{2.5}, ya que el cambio tecnológico asociado a la electromovilidad lleva a una importante reducción en sus emisiones directas.

Las emisiones que no provienen de escape, tanto las emisiones de superficie como las emisiones de regeneración de frenos, aumentan en el periodo 2020-2050, contrario a lo que ocurre con las emisiones que provienen de escape. Debido a ello, las reducciones de MP_{2.5} directas de tubo de escape se ven compensadas parcialmente por un aumento en las emisiones que no provienen de escape, por lo que la reducción total de emisiones de ven mermadas.

En consecuencia, las reducciones en impactos en salud por emisiones directas de Material Particulado 2.5 son bastante menores a las que se obtienen si no se consideran las emisiones que no provienen de escape.

Con respecto a las emisiones según modo vehicular, las emisiones de Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno para Bus y Camión disminuyen en todos los escenarios en el periodo 2020-2050. Por el contrario, las emisiones de Material Particulado 2.5 para Taxi y Vehículo Liviano de Pasajero aumentan dentro del periodo estudiado, mientras que las emisiones de Óxido de Nitrógeno disminuyen; Lo que ocurre para este último caso con respecto a Material Particulado 2.5 ocurre principalmente debido al aumento de las emisiones que no provienen de escape (Surface y BreakTyre Emissions).

En efecto, los co-beneficios obtenidos en la Región Metropolitana derivados de las emisiones de Material Particulado 2.5, considerando las emisiones de tubo de escape y aquellas que no provienen de escape, en el escenario bajo, tanto para mortalidad, admisiones hospitalarias, visitas a las salas de emergencias y productividad perdida, existe un efecto desfavorable, en comparación a los efectos del escenario alto, ya que los co-beneficios de cada uno de ellos disminuyen con el tiempo, y con ello, la valoración de cada uno de ellos. Por otro lado, en el escenario alto ocurre el efecto contrario, los casos, para todos los tipos de co-beneficios presentados aumentan. Cabe destacar que además el escenario bajo tiene resultados superior en magnitud, con respecto al escenario alto.

Con respecto a los co-beneficios por tipo de emisión de Material Particulado 2.5, las emisiones provenientes de escape son aquellas que menor número de co-beneficios genera, mientras que las emisiones de freno son aquellas que, para todos los efectos estudiados, generan los mayores co-beneficios. Las reducciones en Óxido de Nitrógeno llevan a mejoras significativas en salud, siendo incluso el doble de los co-beneficios de Material Particulado 2.5.

Considerando el índice de prioridad social de las comunas, se observa que, los co-beneficios de las emisiones que provienen de escape en el escenario bajo, para comunas con mayor y menor índice de prioridad social, existen co-beneficios negativos y decrecientes, además de ser numéricamente superiores los de las comunas de menor índice de prioridad social, siendo ellas las que tendrían un efecto más significativo en caso de que se cumpla este escenario. Los co-beneficios de estas mismas emisiones en el escenario alto, generan co-beneficios positivos, mas no crecientes en todo el periodo estudiado, siendo las comunas sin prioridad social aquellas que se ven más beneficiadas por la reducción de emisiones.

Los co-beneficios de las emisiones que no provienen de escape, tanto para las comunas mayor índice de prioridad social como para las comunas de menor índice de prioridad social, son positivos y crecientes durante todo el periodo y para todos los efectos estudiados en el escenario alto. Dado esto, es importante mencionar que los co-beneficios generados por las emisiones de superficie son menores que los generados por las emisiones de freno; además, los co-beneficios de las comunas sin prioridad social son superiores a los co-beneficios de las comunas mayor índice de prioridad social.

Realizando la misma comparación para Óxido de Nitrógeno, los co-beneficios de las comunas de menor índice de prioridad social en el escenario alto son superiores a los co-beneficios de las comunas de mayor índice de prioridad social, tanto para mortalidad como para admisiones hospitalarias. Cabe destacar que las comunas de menor índice de prioridad social tienen co-beneficios numéricamente mayores que los co-beneficios de las comunas con mayor índice de prioridad social, tanto para el escenario bajo como para el escenario alto, lo que implica que tienen mayor afectación.

Con respecto a los co-beneficios por modo vehicular, se evidencia que las tendencias anteriormente mencionadas continúan, es decir, en el escenario bajo los efectos son negativos y decrecientes, mientras que en el escenario alto los beneficios son positivos y crecientes, para todos los modos vehiculares y efectos estudiados. Para este caso, los mayores co-beneficios positivos se obtienen en el escenario alto, derivado de la reducción de emisiones para el modo vehicular “Vehículo Liviano de Pasajeros”, teniendo su punto más alto en 2050, lo cual se puede comparar con los mayores co-beneficios de “Camión” en 2034. Esta situación ocurre tanto para mortalidad, como para admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y neumonía.

Los resultados de valoración siguen las tendencias de los co-beneficios presentados. El escenario bajo de las emisiones de escape de Material Particulado 2.5 y Óxido de Nitrógeno en mortalidad y admisiones hospitalarias tienen beneficios negativos, mientras que para el escenario alto de las emisiones provenientes de escape y no provenientes de escape, se presentan beneficios positivos. Es importante mencionar que esta tendencia es equivalente para la valoración por comunas.

Comparando los co-beneficios de $MP_{2.5}$ y NO_x como conjunto versus los resultados de muertes y hospitalizaciones según la recomendación de la OMS y el estándar nacional, primero, las muertes cardiopulmonares hacia 2050 no alcanzan ni la mitad de las muertes evitables del estándar nacional, y por ende, tampoco las de la recomendación de la OMS. Esta situación es equivalente para admisiones hospitalarias.

7. CONCLUSIONES

A lo largo de esta investigación se pudo evidenciar que las normativas, tanto a nivel nacional como internacional, se centran en las emisiones totales de los vehículos, las cuales hasta ahora principalmente provienen de tubo de escape. En el largo plazo, esto puede ser considerado un error debido a que con el pasar de los años las emisiones que no provienen de escape, tanto las de superficie como las de regeneración de frenos, toman gran importancia en comparación a aquellas que provienen de escape, que se espera que se reduzcan considerablemente.

Es por esto, que para que exista una real disminución de las emisiones totales, se necesita un cambio modal en la población, es decir, que exista un cambio en los modos de transporte que se utilizan por alguno más limpio, por ejemplo, implementando o aumentando el uso de la bicicleta y la caminata, lo cual debe ser fomentado a través de políticas públicas, lo cual se ve representado en el escenario NDC+ estudiado en esta investigación.

Con respecto a la hipótesis de trabajo, podemos decir que para este caso se cumple parcialmente. Si bien la reducción de emisiones genera co-beneficios, estos no son lo esperado para el estándar nacional ni menos para la OMS. Lo que se cumple totalmente de la hipótesis es que los grupos diferenciados por su índice de prioridad social se ven afectados de diferente manera, siendo aquellas comunas con alta prioridad social aquellas que tienen menores co-beneficios en ambos escenarios, para todos los efectos estudiados dentro del periodo 2020-2050.

Las comunas con menor índice de prioridad social son aquellas que se verían más favorecidas por estos cambios, por sobre todo por la disminución de las emisiones de Óxido de Nitrógeno. Sobre las emisiones que no provienen de escape, los co-beneficios son bastante similares para las comunas de menor y mayor índice de prioridad social, pero al igual que con las emisiones que provienen de escape, las emisiones de freno generan mayores co-beneficios para las comunas sin prioridad social. Esto se puede atribuir a que las comunas sin prioridad social, al tener más recursos y estilo de vida, pueden optar por una mayor renovación vehicular, así como optar por medios de transporte más limpios, logrando reducir las emisiones provenientes de escape, y con ello obtener mayores co-beneficios.

Considerando el modo vehicular, los mayores co-beneficios se obtienen con la reducción de emisiones en el escenario alto y en el modo vehicular “Vehículo Liviano de Pasajeros”, seguido por el modo vehicular “Camión” en 2034. Cabe destacar que los co-beneficios se ven mermados por el aumento de las emisiones que no provienen de escape, lo que resalta la importancia de considerarlos en las políticas públicas.

Con respecto a la valoración realizada, pese a que la mortalidad evitable es considerablemente inferior con respecto a las admisiones hospitalarias o a la productividad perdida, su valoración unitaria es altamente superior, por lo que su valoración final es mucho más alta.

Es importante mencionar que al considerar los efectos de Material Particulado 2.5 y de Óxido de Nitrógeno como un conjunto, destaca la importancia de combinarlos y no subestimar los verdaderos co-beneficios.

Respondiendo a las preguntas planteadas en la metodología, sobre el tiempo que tomará, posterior al 2035 se acrecientan los resultados y se vuelven significativos. Sobre la mejora en la calidad del aire, no ocurre totalmente ya que las emisiones no provenientes de tubo de escape toman gran importancia, por lo cual los

efectos no son totalmente los esperados según el gobierno de Chile.

Dentro de las propuestas de políticas públicas que favorecerían estos cambios se encuentran:

- Incentivos a la compra de vehículos de energía limpia, como subsidios o facilidad de créditos.
- Introducir beneficios indirectos, como descuentos en peajes, estacionamientos o permisos de circulación.
- Liberación o reducción de restricciones de circulación respecto de vehículos similares más contaminantes, por ejemplo, permitiéndoles transitar por vías exclusivas.
- Subsidio a la infraestructura de abastecimiento de carga.
- Incentivos a la utilización de otros modos vehicular, como bicicleta y scooter tradicional o eléctrico.

En resumen, es importante mencionar que la presente investigación deja en evidencia que las normativas en cuestiones medioambientales y vehiculares, tanto en Chile como en el resto del mundo, deben modificarse e incluir las emisiones que no provienen de escape, como lo son las de superficie y de regeneración de freno. Esto permitiría la implementación de políticas públicas, como las mencionadas, que fomenten y potencien un cambio modal y la implementación de vehículos más limpios y eficientes, y así reducir definitivamente las emisiones contaminantes provenientes del área de transporte, logrando así alcanzar al menos la NDC o NDC+ planteadas, lo que generaría co-beneficios mayores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s. f.). Constitución Política de la República de Chile 1980. Recuperado de <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/60446/3/132632.pdf>
- [2] Nuestra Esfera. (s. f.). *Legislación ambiental en Chile*. Recuperado de <http://nuestraesfera.cl/zoom/legislacion-ambiental-en-chile/>
- [3] Ministerio de Energía. (2024). *Plataforma de Electromovilidad*. Recuperado de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/preguntas-frecuentes?p=33>
- [4] Ministerio de Energía. (s. f.). *Plataforma de Electromovilidad - políticas, estrategias de movilidad eléctrica*. Recuperado de <https://www.energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>
- [5] National Geographic. (2022, agosto). ¿Cuáles son los principales tipos de contaminación ambiental? Recuperado de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/08/cuales-son-los-principales-tipos-de-contaminacion-ambiental>
- [6] Gobierno de Chile. (s. f.). Un hito en la historia medioambiental de Chile: a partir de hoy contamos con nuestra primera Ley Marco de Cambio Climático. Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/un-hito-en-la-historia-medioambiental-de-chile-partir-de-hoy-contamos-con-nuestra-primer-ley-marco-de-cambio-climatico/>
- [7] Santiago Recicla. (2021). *3er Informe del Estado del Medio Ambiente de Chile: Región Metropolitana lidera a nivel país resultados de desempeño ambiental*. Recuperado de <https://santiagorecicla.mma.gob.cl/3er-informe-del-estado-del-medio-ambiente-de-chile-region-metropolitana-lidera-a-nivel-pais-resultados-de-desempeno-ambiental/>
- [8] Memoria Chilena. (s. f.). La contaminación atmosférica de Santiago. Recuperado de <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-3507.html>
- [9] National Geographic. (2023, febrero). *Gases de efecto invernadero: qué son y cuáles son sus efectos*. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-hacen>
- [10] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (s. f.). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- [11] Huneus, N., Urquiza A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., Basoa, K., Billi, M., Blanco, G., Boisier, J.P., Calvo, R., Casielles, I., Castro, M., Chahuán, J., Christie, D., Cordero, L., Correa, V., Cortés, J., Fleming, Z., Gajardo, N., Gallardo, L., Gómez, L., Insunza, X., Iriarte, P., Labraña, J., Lambert, F., Muñoz, A., Opazo, M., O’Ryan, R., Osses, A., Plass, M., Rivas, M., Salinas, S., Santander, S., Seguel, R., Smith, P., Tolvet, S (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 102 pp. Disponible en www.cr2.cl/contaminacion/
- [12] StudyLib. (s. f.). Las PM2.5 y su afectación a la salud. Recuperado de <https://studylib.es/doc/6747266/las-pm2-5-y-su-afecci%C3%B3n-a-la-salud>
- [13] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s. f.). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.html>

- [14] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2022). *Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes*. Recuperado de https://retc.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/ICETC_RET-2022.pdf
- [15] Agencia Nacional de Certificación Ambiental para la Sustentabilidad (ANAC). (s. f.). *Informe del Parque Automotriz*. Recuperado de <https://www.anac.cl/informe-del-parque-automotriz/>
- [16] González, A., & Osses, M. (2016). Evaluación del impacto de la capacitación con lógica difusa. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(Especial), 4-5. Recuperado de <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v24nEspecial/art05.pdf>
- [17] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s. f.). *¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?*. Recuperado de [¿Qué son los ODS? – Objetivos de Desarrollo Sostenible \(mma.gob.cl\)](https://mma.gob.cl/que-son-los-ods-objetivos-de-desarrollo-sostenible/)
- [18] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s. f.). *Innovaciones en transporte y electromovilidad*. Recuperado de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28530/1/Minuta_12_20_innovaciones_en_transporte_Electromovilidad.pdf
- [19] Ministerio de Energía. (s. f.). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Recuperado de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf
- [20] Agencia de Sostenibilidad Energética. (2023). *Compromisos Ambientales 2023*. Recuperado de <https://www.agenciase.org/wp-content/uploads/2023/11/AEM-COMPROMISOS-2023-actualizado.pdf>
- [21] Ministerio de Energía. (s. f.). *Transporte de pasajeros*. Recuperado de [Plataforma de Electromovilidad - Implementación de electromovilidad transporte de pasajeros \(energia.gob.cl\)](https://energia.gob.cl/plataforma-de-electromovilidad-implementacion-de-electromovilidad-transporte-de-pasajeros/)
- [22] Ministerio de Energía. (s. f.). *Normativa para cargadores eléctricos*. Recuperado de [Plataforma de Electromovilidad - Implementación de electromovilidad transporte de carga \(energia.gob.cl\)](https://energia.gob.cl/plataforma-de-electromovilidad-implementacion-de-electromovilidad-transporte-de-carga/)
- [23] Ministerio de Energía. (s. f.). *Modelos de negocios en electromovilidad*. Recuperado de [Plataforma de Electromovilidad - Modelos de negocios de electromovilidad \(energia.gob.cl\)](https://energia.gob.cl/plataforma-de-electromovilidad-modelos-de-negocios-de-electromovilidad/)
- [24] Ministerio de Energía. (2019). *Plataforma de Electromovilidad - La familia que se la jugó por la electromovilidad* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sVk2i7rA3W8>
- [25] OLADE. (2023, agosto). *Avances y Perspectivas en la Electromovilidad: Rumbo a un Futuro Sostenible en América Latina y el Mundo. Diciembre 2023*. Recuperado de <https://www.olade.org/editoriales/agosto-2023/>
- [26] Tesla. (s. f.). *Acerca de nosotros*. Recuperado de https://www.tesla.com/es_MX/about
- [27] EFE. (2024, enero 24). *Los Beneficios de Tesla en 2023 Crecieron un 19% con el Aumento del 35% de su Producción*. Recuperado de <https://efe.com/mundo/2024-01-24/los-beneficios-de-tesla-en-2023-crecieron-un-19-con-el-aumento-del-35-de-su-produccion/#:~:text=El%20fabricante%20de%20veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%20Tesla%20tuvo%20en,pasado%20su%20producci%C3%B3n%20de%20veh%C3%ADculos%20un%2035%20%25>
- [28] Finanzas.com. (2023, julio 26). *El coche eléctrico divide a Noruega por sus ‘generosas’ ayudas*. Recuperado de <https://www.finanzas.com/esg/transicion-energetica/el-coche-electrico-divide-a-noruega-por-sus-generosas-ayudas/>
- [29] Electrive. (2024, abril 5). *Noruega establece un peaje reducido para los EVs*. Recuperado de <https://www.electrive.com/es/2024/04/05/noruega-establece-un-peaje-reducido-para-los-evs/>
- [30] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). *La electromovilidad en China y su impacto en Chile*. Recuperado de

- https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33979/1/La_electromovilidad_en_China_y_su_impacto_en_Chile.pdf
- [31] United States Department of Transportation. (2023, June 29). Charging Forward: A Toolkit for Planning and Funding Urban Electric Mobility Infrastructure. Recuperado de <https://www.transportation.gov/urban-e-mobility-toolkit/e-mobility-infrastructure-funding-and-financing/overview>
- [32] *Reporte Sostenible*. (2024, julio 5). *Impulsarán la electromovilidad generalizada en Europa mediante un equipo de 30 empresas y asociaciones de 9 países*. Recuperado de <https://www.transportation.gov/urban-e-mobility-toolkit/e-mobility-infrastructure-funding-and-financing/overview> *Impulsarán la electromovilidad generalizada en Europa mediante un equipo de 30 empresas y asociaciones de 9 países (reportesostenible.cl)*
- [33] Organización Mundial de la Salud. (s. f.). Contaminación atmosférica. Recuperado de https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- [34] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). (2023). Informe de la Brecha de Emisiones 2023: Broken Record – Temperaturas alcanzan nuevos máximos, pero el mundo no logra reducir las emisiones (nuevamente). Recuperado de [Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023 | ONU - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente \(unep.org\)](https://www.unep.org/es/informacion-y-comunicacion/publicaciones/informe-de-la-brecha-de-emisiones-2023)
- [35] Acela. (s. f.). Fuel Basics: Fuels and Emissions 101. Recuperado de [Combustibles y Emisiones - ACELA](https://www.aceia.com/fuel-basics)
- [36] Lewis, A., Moller, S. J., & Carslaw, D. (2019). Non-Exhaust Emissions from Road Traffic. Defra. Recuperado de [1907101151 20190709 Non Exhaust Emissions typeset Final.pdf \(defra.gov.uk\)](https://www.defra.gov.uk/publications/default.aspx?id=1907101151)
- [37] Amato, F. (2018). Non-Exhaust Emissions An Urban Air Quality Problem for Public Health. Recuperado de https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=hSk0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=non+exhaust+emissions+and+human+health&ots=ASmWIoeB18&sig=PGp7_3CpApbnMM-KrNGdB90GUKI#v=onepage&q=non%20exhaust%20emissions%20and%20human%20health&f=false
- [38] Fussell, J. C., Franklin, M., Green, D. C., Gustafsson, M., Harrison, R. M., Hicks, W., Kelly, F. J., Kishta, F., Miller, M. R., Mudway, I. S., Oroumih, F., Selley, L., Wang, M., & Zhu, Y. (2022). Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures. *Environ. Sci. Technol.*, 56, 6813–6835. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01072>
- [39] Ye Liu, Haibo Chen, Ying Li, Jianbing Gao, Kaushali Dave, Junyan Chen, Tiezhu Li, Ran Tu. (2021). Exhaust and non-exhaust emissions from conventional and electric vehicles: A comparison of monetary impact values. *ScienceDirect*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621041342>
- [40] Ministerio de Energía. (s. f.). Electromovilidad para todos: Definiciones básicas de electromovilidad, beneficios y objetivo de la Plataforma de Electromovilidad. Recuperado de [Plataforma de Electromovilidad - Beneficios de la electromovilidad \(energia.gob.cl\)](https://www.energia.gob.cl/plataforma-de-electromovilidad-beneficios-de-la-electromovilidad)
- [41] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2019). Electromovilidad: Experiencias comparadas. Recuperado de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27343/1/BCN_Electromovilidad_Experiencias_comparadas.pdf
- [42] Temob. (s. f.). Beneficios de la electromovilidad. Recuperado de [Beneficios electromovilidad - Temob](https://www.temob.cl/beneficios-de-la-electromovilidad)

- [43] Mardones, Cristian, & Fuentes, Jorge. (2017). REGULACIONES PARA REDUCIR EMISIONES DE MP 2.5 Y EXTERNALIDADES SOBRE SUS PRECURSORES CUANDO EXISTE DISPONIBILIDAD DE UN COMBUSTIBLE LIMPIO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 505-520. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.13>
- [44] AGIES. (2013). Guía Metodológica. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/287107236/Guia-Metodologica-AGIES>
- [45] O'ryan, R. (s/f). Identificación, Medición y Valoración de Impactos Ambientales y de Recursos Naturales (Parte 4)
- [46] O'ryan, R. (s/f). Identificación, Medición y Valoración de Impactos Ambientales y de Recursos Naturales (Parte 5)
- [47] Luis A. Cifuentes, Alan J. Krupnick, Raúl O’Ryan and Michael A. Toman (2005) “Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean” Working Paper in IDB Publications N° 25378, Washinton D.C.EN... https://www.researchgate.net/publication/4737192_Urban_Air_Quality_and_Human_Health_in_Latin_America_and_the_Caribbean
- [48] O’Ryan, Raul and Sanchez, J. Miguel. (2007) “Comparison of Net Benefits Of Incentive Based and Command And Control Regulations in a Developing Context: The Case of Santiago, Chile”, *The World Bank Economic Review*; Advance Access published on August 31, 2007, *World Bank Econ Rev* 2008 22: 249-269; doi:10.1093/wber/lhm013
- [49] Marcelo Mena-Carrasco, Estefania Oliva, Pablo Saide, Scott N. Spak, Cristóbal de la Maza, Mauricio Osses, Sebastián Tolvett, J. Elliott Campbell, Tsao es Chi-Chung Tsao, Luisa T. Molina. Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile. *Science of The Total Environment*. Volume 429. 2012. Pages 257-265. ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.037>.
- [50] O’Ryan, Raúl. “BENEFICIOS DEL GAS NATURAL VEHICULAR EN SANTIAGO.”
- [51] Gallardo, C., Schulz, P., & Briceño, S. (2017). ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE REVISIÓN DE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO MP10. Santiago. Recuperado de https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/N_856_a_865_AGIES.pdf
- [52] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. (2017). Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Revisión de Norma Primaria de Calidad del Aire para Material Particulado Respirable MP 10. Recuperado el 30 de noviembre de 2023, de https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/AGIES_anteproyecto_MP10_20.01.2017.pdf
- [53] Osses, M., Rojas, N., Ibarra, C., Valdebenito, V., Laengle, I., Pantoja, N., Osses, D., Basoa, K., Tolvett, S., Huneeus, N., Gallardo, L., y Gómez, B. (2022). High-resolution spatial-distribution maps of road transport exhaust emissions in Chile, 1990–2020. *Earth System Science Data*, 14, 1359–1376¹(<https://doi.org/10.5194/essd-14-1359-2022>).
- [54] MMA (2022). ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE NORMAS DE EMISIÓN APLICABLES A VEHÍCULOS PESADOS. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.
- [55] O’Ryan, R., Clerc, J., Osses, M., Ibarra, C., & Henríquez, P. (2016). Impactos y Beneficios en Salud de un Impuesto Ingreso Neutral para el Gas Natural en Chile.
- [56] Instituto Nacional de Estadísticas. (s.f.). Proyecciones de Población. Recuperado de <https://www.inec.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>

- [57] United Nations Framework Convention on Climate Change. (2023). *La declaración y el llamado a la acción de París sobre la movilidad eléctrica y el cambio climático*. UNFCCC. Recuperado de <https://unfccc.int/es/news/la-declaracion-y-el-llamado-a-la-accion-de-paris-sobre-la-movilidad-electrica-y-el-cambio-climatico>
- [58] MAPS Chile. (2023). *Las grandes conclusiones y desafíos que dejó la COP21*. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Recuperado de <https://mapschile.mma.gob.cl/las-grandes-conclusiones-y-desafios-que-dejo-la-cop21/>
- [59] Diario Constitucional. (2022). *Informe sobre la nueva constitución*. Recuperado de https://www.diarioconstitucional.cl/wp-content/uploads/2022/06/nueva_constitucion_informe2.pdf
- [60] Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Norma primaria de calidad del aire para material particulado fino (MP2,5)*. Recuperado de <https://normasaire.mma.gob.cl/nambientales/normas-de-calidad-del-aire/norma-primaria-de-calidad-del-aire-para-material-particulado-fino-mp25/>
- [61] Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Calidad del aire ambiente*. Recuperado de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire/calidad-aire-ambiente>
- [62] Memoria Chilena. (2023). *Ley de Bases del Medio Ambiente*. Recuperado de <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-95183.html>
- [63] Ministerio del Medio Ambiente. (n.d.). *Descripción del Instrumento – Cambio Climático*. Recuperado de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/contribucion-determinada-ndc/descripcion-del-instrumento/>
- [64] Amable Álvarez, Isabel, Méndez Martínez, Jesús, Bello Rodríguez, Berta María, Benítez Fuentes, Betsy, Escobar Blanco, Libertad Manuela, & Zamora Monzón, Rolando. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1170. Recuperado en 19 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017&lng=es&tlng=es.
- [65] Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2024). *Índice de Prioridad Social 2024*. Recuperado de <https://nubeinversiones.cl/webnube/wp-content/uploads/2024/04/INDICE-DE-PRIORIDAD-SOCIAL-2024.pdf>
- [66] Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (n.d.). *Proyecciones de población*. Recuperado de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>
- [67] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (n.d.). *CEPALSTAT: Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas*. Recuperado de https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?indicator_id=1&area_id=1&lang=es
- [68] Universidad Carlos III de Madrid. (n.d.). *Tema 6. Proyecciones de población*. Recuperado de <https://www.studocu.com/es/document/universidad-carlos-iii-de-madrid/demografia/tema-6-proyecciones-de-poblacion/54554534>
- [69] Servicio de Impuestos Internos. (2024). *Valores y fechas del dólar*. Recuperado de https://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2024.htm
- [70] Servicio de Impuestos Internos. (2024). *Valores y fechas de la UF*. Recuperado de https://www.sii.cl/valores_y_fechas/uf/uf2024.htm

ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE EMISIONES

Los datos de emisiones, tanto de $MP_{2.5}$ como de NO_x se encuentran en el siguiente enlace:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1699IxlL2y8qNkuMfr2eJrVmwkvwxRD9r/edit?gid=289362187#gid=289362187>

Los gráficos de las emisiones de $MP_{2.5}$ y de NO_x se encuentran en el siguiente enlace:
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1BuzXVKpkZuVzx6klkW-rwrHtDCqNr6qw/edit?gid=1497893598#gid=1497893598>

ANEXO 2: TABLAS DE VALORES

Los valores de Factor Emisión Concentración (FEC_i^t) están expresados en la siguiente tabla:

FEC $MP_{2.5}$ [ton / (μg $MP_{2.5}$ / m^3)]	646
FEC NO_x [ton / (μg $MP_{2.5}$ / m^3)]	3090

Tabla 11: Valores Factor Emisión – Concentración [55]

Los valores Coeficiente de Riesgo Unitario (β_{ij}) están expresados en la siguiente tabla:

Tipo de efecto	Efecto	0 a 1	1 a 4	5 a 12	13 a 17	18 a 29	30 a 44	45 a 64	65 a 74	75+
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	0	0	0	0	0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
Admisiones Hospitalarias	Asma	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0	0
	Cardiovascular	0	0	0	0	0,15%	0,15%	0,15%	0,16%	0,16%
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	0,24%	0,24%	0,24%	0,12%	0,12%
	Neumonía	0	0	0	0	0	0	0	0,40%	0,40%
	Bronquitis	0	0	0,77%	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%
Visita Salas de Emergencia	Asma	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0	0	0	0	0
Productividad Perdida	Días laborales	0	0	0	0	0,46%	0,46%	0,46%	0	0
	Días de actividad restringida	0	0	0	0	0,47%	0,47%	0,48%	0	0
	Días de actividad restringida menor	0	0	0	0	0,74%	0,47%	0,74%	0	0

Tabla 12: Valores Coeficiente de Riesgo Unitario [54]

Los valores Tasa de Incidencia Base (IR_{ij}) están expresados en la siguiente tabla:

Tipo de efecto	Efecto	0 a 1	1 a 4	5 a 12	13 a 17	18 a 29	30 a 44	45 a 64	65 a 74	75+
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	0	0	0	0	0,0005	0,05%	0,05%	1,96%	1,96%
Admisiones Hospitalarias	Asma	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,01%	0,01%	0,01%	0,0001	0,0001
	Cardiovascular	0	0	0	0	0,31%	0,31%	0,31%	2,87%	2,87%
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	0,05%	0,05%	0,05%	0,47%	0,47%
	Neumonía	0	0	0	0	0	0	0	1,50%	1,50%
	Bronquitis	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bronquitis Crónica	0	0	0	0	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
Visita Salas de Emergencia	Asma	0,87%	0,87%	0,87%	0,87%	0	0	0	0	0
Productividad Perdida	Días laborales	0	0	0	0	136,40%	136,40%	136,40%	1,364	1,364
	Días de actividad restringida	0	0	0	0	646,05%	646,05%	646,05%	6,4605	6,4605
	Días de actividad restringida menor	0	0	0	0	780,01%	780,01%	780,01%	7,8001	7,8001

Tabla 13: Valores Tasa de Incidencia Base [55]

Los valores Valoración Unitaria (VU_j) están expresados en la siguiente tabla:

Tipo de efecto	Efecto	0 a 1	1 a 4	5 a 12	13 a 17	18 a 29	30 a 44	45 a 64	65 a 74	75+
Mortalidad	Cardiopulmonar LP	15351	15351	15351	15351	15351	15351	15351	15351	15351
Admisiones Hospitalarias	Asma	26	26	26	26	29	29	29	0	0
	Cardiovascular	0	0	0	0	58	58	58	58	58
	Respiratoria Crónica	0	0	0	0	37	37	37	38	38
	Neumonía	0	0	0	0	0	0	0	41	41
	Bronquitis	26	26	26	26	37	37	37	38	38
	Bronquitis Crónica	26	26	26	26	37	37	37	38	38
Visita Salas de Emergencia	Asma	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0
Productividad Perdida	Días laborales	0	0	0	0	0,9	0,9	0,9	0	0
	Días de actividad restringida	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0
	Días de actividad restringida menor	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 14: Valores Valoración Unitaria [54]

ANEXO 3: POBLACIÓN

La población total en la Región Metropolitana es:

Año / Edad	0 a 1	1 a 4	5 a 12	13 a 17	18 a 29	30 a 44	45 a 64	65 a 74	75+
2020	103.124	402.752	1.006.294	503.859	1.395.522	1.952.075	1.857.149	543.358	360.939
2021	105.341	401.613	1.017.913	498.016	1.372.858	2.015.078	1.890.695	566.803	374.142
2022	105.844	405.001	1.018.748	494.490	1.332.316	2.057.524	1.918.901	589.494	388.666
2023	105.562	410.408	1.013.864	494.989	1.290.095	2.092.336	1.944.645	611.720	404.171
2024	104.957	414.756	1.007.537	499.699	1.247.990	2.123.257	1.968.542	634.514	419.477
2025	104.133	416.054	1.002.450	507.943	1.206.994	2.148.571	1.992.257	655.995	436.847
2026	103.110	414.755	1.000.266	515.019	1.170.695	2.165.928	2.017.201	674.473	458.080
2027	101.897	412.031	999.293	519.061	1.142.150	2.174.157	2.044.121	692.180	480.613
2028	100.523	408.392	999.065	519.217	1.121.839	2.174.115	2.072.365	709.514	504.006
2029	99.040	403.993	997.166	518.493	1.108.509	2.166.733	2.101.432	726.842	527.771
2030	97.495	398.942	992.348	518.777	1.101.963	2.151.628	2.131.631	743.349	552.130
2031	96.663	393.372	988.440	518.292	1.098.497	2.128.547	2.164.910	758.710	576.929
2032	95.328	388.186	987.996	513.931	1.097.720	2.097.211	2.202.277	772.952	602.504
2033	94.001	383.040	988.217	508.590	1.097.794	2.058.492	2.244.881	785.979	628.323
2034	92.715	378.044	986.297	502.864	1.101.354	2.009.836	2.295.710	797.009	654.195
2035	91.507	373.313	980.428	497.464	1.109.452	1.956.085	2.350.195	805.390	680.409
2036	91.150	371.857	976.604	496.817	1.108.010	1.953.542	2.350.638	810.222	705.924
2037	90.795	370.407	972.796	496.171	1.106.569	1.951.002	2.351.100	815.084	732.397
2038	90.441	368.962	969.002	495.526	1.105.131	1.948.466	2.351.584	819.974	759.861
2039	90.088	367.523	965.223	494.882	1.103.694	1.945.933	2.352.088	824.894	788.356
2040	89.736	366.090	961.458	494.239	1.102.259	1.943.403	2.352.613	829.843	817.920
2041	89.360	364.552	957.420	492.707	1.098.842	1.937.379	2.349.516	834.325	844.093
2042	88.984	363.021	953.399	491.179	1.095.436	1.931.373	2.346.452	838.830	871.104
2043	88.611	361.497	949.395	489.657	1.092.040	1.925.386	2.343.419	843.360	898.979
2044	88.238	359.978	945.407	488.139	1.088.655	1.919.417	2.340.420	847.914	927.747
2045	87.868	358.466	941.436	486.626	1.085.280	1.913.467	2.337.452	852.492	957.434
2046	87.534	357.104	937.859	483.706	1.078.768	1.901.986	2.332.962	863.404	978.019
2047	87.201	355.747	934.295	480.804	1.072.296	1.890.574	2.328.621	874.456	999.047
2048	86.870	354.395	930.745	477.919	1.065.862	1.879.231	2.324.430	885.649	1.020.526
2049	86.540	353.049	927.208	475.051	1.059.467	1.867.955	2.320.389	896.985	1.042.468
2050	86.211	351.707	923.685	472.201	1.053.110	1.856.748	2.316.499	908.467	1.064.881

Tabla 15: Población por año y rango etario Región Metropolitana [56]

La información por comuna, y el detalle del cálculo, se encuentra disponible en el siguiente enlace:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o0X6-](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o0X6-Ak4GBkqim2hrHyUPmoY0ICaMLjdG_ZoLSmCIak/edit?gid=1164776393#gid=1164776393)

[Ak4GBkqim2hrHyUPmoY0ICaMLjdG_ZoLSmCIak/edit?gid=1164776393#gid=1164776393](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o0X6-Ak4GBkqim2hrHyUPmoY0ICaMLjdG_ZoLSmCIak/edit?gid=1164776393#gid=1164776393)

ANEXO 4: CÁLCULOS Y RESULTADOS

Los cálculos de co-beneficios y valoración de $MP_{2.5}$ y de NO_x :

https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1uQJAdlUMUFrIG9M8by4xtIAbODR_T53r

Los cálculos de los co-beneficios y valoración de las emisiones que provienen de escape, incluyendo cada comuna, se encuentran en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1w9A6Tw9fZ-QBmhpBMuegZFa4wffytYWb>

Los cálculos de los co-beneficios y valoración de las emisiones de superficie, incluyendo cada comuna, se encuentran en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1BpcLdZZFJegJjWDptudvEPshj-egqSGq>

Los cálculos de los co-beneficios y valoración de las emisiones de freno, incluyendo cada comuna, se encuentran en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1UaqJvVRKZ12Fuym01BlyzsEKg7SXQ-sN>

Los cálculos de los co-beneficios y valoración de las emisiones por modo vehicular se encuentran en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/u/2/folders/167VtZw6hy1zWb2vLuVGdNOT3nIFYO0Z->

Los cálculos de los co-beneficios y valoración de las emisiones según índice de prioridad social comunal, se encuentran en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1Y7qku_4RwLMbZbeO8DK0xsCzI0tcw-Xs