Guía de
Emisiones y consumos energéticos 2020 -2050

Sector transporte de carga terrestre en Chile



Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

Agencia de Sostenibilidad Energética

Giro limpio
la ruta verde para Chile



La Agencia de Sostenibilidad Energética

Publica la presente guía Giro Limpio, con la finalidad de ser un aporte desde el ámbito de la eficiencia energética, analizando el consumo de energía y emisiones de gases efectos invernaderos relacionadas al sector transporte de carga.

Autores y editores:

Constanza Morcillo Núñez,
Agencia de Sostenibilidad Energética
Luz Ubilla Borquez,
Agencia de Sostenibilidad Energética
Francisca Barriga Concha,
Agencia de Sostenibilidad Energética
Víctor Toro Lara,
Agencia de Sostenibilidad Energética
Catalina Pino Carril,
Ministerio de Energía

Diseño:

Tamara Osses

Derechos reservados
Prohibida su reproducción

Fecha de publicación, **diciembre 2023**

Contenido

Introducción

1. Glosario
2. Alcance
3. Contexto
4. Antecedentes y metodología
5. Resultados obtenidos
6. Análisis
7. Conclusiones
8. Referencias



Glosario

GEI: Gases de efecto invernadero, CO_2, CH_4, N_2O.

ECLP: Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile.

NDC: Contribución Determinada a Nivel Nacional.

INGEI: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero.

CB: Carbono Negro.

MP: Material Particulado.

VOC: Compuestos orgánicos volátiles.

Contaminante Criterios:
CO, NO, NO_2, PM_{10}, MP_2,5, SO_2, VOC, O_3.

Contaminantes climáticos de vida corta:
H_2O, CB, $O0_3$, HFC_1.

CO: Monóxido de Carbono.

NO: Óxido de nitrógeno.

PAHs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos.

POPs: Contaminantes orgánicos persistentes.

EE: Eficiencia Energética.

NMOG: Gases orgánicos no metanos.

PN10: Número total de partículas sólidas emitidas por el tubo de escape o frenos que tienen diámetro superior o igual a 10 [nm].

NMHC: Hidrocarburo no metano.

HEV: Vehículo Híbrido Eléctrico.

PHEV: Vehículo Hibrido Eléctrico Enchufable.

BEV: Vehículo Eléctrico a Batería.

PHEV: Vehículo Híbrido Enchufable.

FCEV: Vehículo Eléctrico con Celda de Combustible de Hidrógeno.

OVC-HEV: Vehículos Híbrido Eléctrico de Carga Fuera del Vehículo.

TKM: Tonelada-kilómetro.

VKM: Proyección de vehículo-km.

EM: Electromovilidad.



Introducción

Dada la **crisis climática que está atravesando el mundo**, el Estado de Chile debe debe tomar diferentes acciones para **mitigar los efectos nocivos** asociados a la situación actual y su impacto a futuro.

En el año 2020 se actualizó la **Contribución Nacional Determinada (NDC)**, estableciendo la importancia de llegar a ser un **país carbono neutral** y en paralelo se desarrolló la **Estrategia Climática de Largo Plazo**. También, el año 2021 se promulgó la **Ley 21.305** (Ley de Eficiencia Energética), que dentro de institucionalizar la eficiencia energética (EE) elaboró un **Plan de Eficiencia Energética** que establece medidas concretas para reducir los consumos energéticos en los sectores de transporte, industria, minería, sector residencial, público y comercial.

Con el propósito de impulsar la sostenibilidad energética y lograr la transición energética se creó la **Agencia de Sostenibilidad Energética** (AgenciaSE), por decreto ley del Ministerio de Energía para así de articular iniciativas público-privada en materia de sostenibilidad energética, focalizando el trabajo hacia los principales sectores de consumo **y retroalimentando a la política pública.** También es conocida como el brazo implementador del Ministerio de Energía.

La AgenciaSE impulsa diversos programas entorno al avance en la implementación de la eficiencia energética en Chile. Uno de ellos es **Giro Limpio**, cuyo propósito es lograr la sostenibilidad en el sector transporte de carga terrestre, como respuesta a la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de un 11% a nivel nacional [1]. Una de sus líneas de acción es la investigación y divulgación académica con el objetivo de descarbonizar el sector.

Esta guía busca cuantificar las **emisiones y consumos energéticos que se asocian al sector transporte de carga terrestre durante el periodo 2020-2050**, creando así 3 escenarios diferentes variando la implementación de nuevas tecnologías, utilizando la metodología del STEP 3.0. El primer escenario generado considera el cumplimiento de los compromisos de la NDC. El segundo expone el impacto de la implementación de la Norma Euro VII en los consumos energéticos y emisiones de CO_{2eq}. Finalmente, tercer escenario da a conocer el impacto de no implementar tecnologías más limpias para las operaciones del sector.

Los escenarios diseñados en el presente documento permiten tener una visión futura respecto al consumo energético y de emisiones que aporta el sector transporte de carga terrestre. Permitiendo a diferentes organizaciones, como ONG, academia, autoridades y otros actores, implementar diferentes medidas tales como **tecnologías más limpias, estrategias y buenas prácticas** para así lograr alcanzar la **carbono neutralidad**.

1. Alcance

Este estudio presenta 3 escenarios de proyecciones de emisiones y consumos energéticos relacionados al sector de carga terrestre no ferrocarril, considerando antecedentes asociados a los compromisos que ha adquirido el país para ser carbono neutral al 2050.

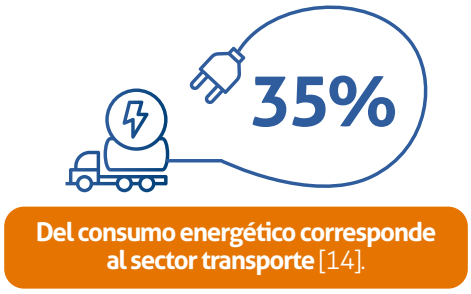
Lo anterior, para establecer cómo influye la incorporación de diferentes tecnologías y normativas. En ese sentido se evalúan tres escenarios diferentes, con el objetivo de generar un análisis y debate de nuevas estrategias y planes de acción, respecto a la implementación de tecnologías más limpias.



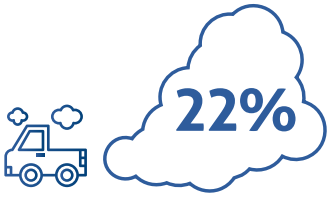
2. Contexto

El sector transporte juega un rol importante para alcanzar la carbono neutralidad en el país, debido a sus impactos en el consumo energético y en las emisiones de CO_2.

Compromisos para ser un país carbono neutral, relacionados al transporte de carga terrestre.



Del consumo energético corresponde al sector transporte [14].



Emisiones relacionadas al sector transporte terrestre no ferrocarril, respecto al total nacional [16].



Por lo tanto, es relevante conocer y difundir los diferentes compromisos, planes, estrategias y políticas de largo plazo que ha adquirido y desarrollado el país para alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050.

También es fundamental identificar las diferentes tecnologías que pueden integrarse para reducir los consumos energéticos del sector transporte. De esta forma, se contribuye a disminuir las emisiones asociadas al sector transporte de carga terrestre no ferrocarril.

En este documento se establecen los principales compromisos que adquiere el país para cumplir con los objetivos internacionales relacionados al cambio climático, con la finalidad de mitigar el aumento de la temperatura de la Tierra, implementando medidas para reducir los GEI y otros contaminantes.

Su última actualización se realizó el 2020, ratificando el compromiso de Chile respecto al Acuerdo de París, incorporando el concepto de transición justa.

Unas de las medidas asociadas al alcance de la carbono neutralidad al **2050, considera que el 71% del sector transporte de carga utilice hidrógeno al año 2050 [2].**



EFICIENCIA ENERGÉTICA

ESTRATEGIA CLIMÁTICA A LARGO PLAZO (ECLP) Y LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO (LEY 21.455)

La ECLP se desarrolló en paralelo a la actualización de la NDC. Este documento es una herramienta de gestión del cambio climático, y establece los principales lineamientos para enfrentar la crisis climática.

Además, se expone que el sector transporte es un eslabón importante para alcanzar la carbono neutralidad, por lo tanto, se deben realizar profundas transformaciones en materia de emisiones de GEI y otros contaminantes climáticos, estableciendo que la idea principal es utilizar y masificar diferentes tecnologías más limpias, promoviendo la movilidad activa y segura [3].

También, en esta estrategia se crea el proyecto de Ley Marco de Cambio climático, publicada en el año 2022, estableciendo la urgencia de alcanzar la carbono neutralidad.

Uno de los elementos que se abordan en esta ley, es que se define una cantidad máxima de emisiones de GEI y/o forzantes climáticos de vida corta que podrá emitir un establecimiento, fuente emisora o una agrupación de éstas, en función de un estándar de emisiones de referencia por tecnología, sector y/o actividad [4]. Todo esto con el objetivo de cumplir las metas declaradas en la ECLP y la NDC.



CAMBIO CLIMÁTICO

LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (LEY 21.305) Y PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La Ley de Eficiencia Energética y el Plan de Eficiencia Energética, surgen como herramientas para contribuir a reducir los GEI y otros contaminantes locales.

Esta ley establece que las empresas que tengan un consumo energético mayor o igual a 50 [Tcal] al año deben reportar sus consumos e intensidad energéticos en la plataforma web del Ministerio de Energía. A partir de esto, el Ministerio de Energía identifica a los consumidores con capacidad de la gestión de la energía (CCGE), las cuales deben comprometerse e implementar un Sistema de Gestión Energética (SGE) [5].

Otra arista de esta ley corresponde al establecimiento de estándares de EE para vehículos livianos, medianos y pesados, con el objetivo de reducir el consumo de energía del sector transporte.

A raíz de esta ley, nace el Plan Nacional de Eficiencia Energética, que tiene como objetivo proporcionar un marco estratégico para el desarrollo de EE del país, materializando el potencial de ahorro energético para alcanzar la carbono neutralidad el año 2050 [6].

En este plan se encuentran los distintos años de implementación de los estándares de EE que establece la ley de EE para el sector transporte, entrando en vigencia en el año 2024 para el caso de vehículos livianos, el 2026 para vehículos medianos y en el 2028 para vehículos pesados [6]. Además, una de las metas de este plan es duplicar el rendimiento de los nuevos vehículos livianos que entren al país desde el año 2035, respecto al año 2019 [6].

Nuevas tecnologías y buenas prácticas para un transporte de carga eficiente

Giro limpio la ruta verde para Chile | **PROGRAMA DE TRANSPORTE DE CARGA EFICIENTE**

Este programa enfocado en la sostenibilidad en el transporte de carga en Chile, gratuito y voluntario, entrega diferentes herramientas a sus socios mediante su Oferta de Valor, que consiste en 5 líneas de trabajo, orientados a la reducción de combustible, costos de operaciones y emisiones de GEI.



Ilustración 1: Oferta de Valor - Programa Giro Limpio

Las actuales herramientas del programa están enfocadas al mejoramiento de los aspectos ambientales, económicos y sociales en el sector transporte de carga. Esto se logra a partir de la disponibilidad de información y recursos, utilizados para formar personas con conciencia ambiental y habilidades para la conducción eficiente.

El programa cuenta con la Plataforma digital Giro Limpio en la que se registran los diferentes Socios Giro Limpio y pueden reportar su información asociada al desempeño energético, como también de registrar diferentes datos que les permitirá conocer mejor sus operaciones.

También deben realizar validación de las tecnologías, estrategias y buenas prácticas para el ahorro de combustible implementadas y los datos reportados.

Las publicaciones Giro Limpio en formato guía, brochure y casos de éxito contienen información relevante respecto a los beneficios asociados a la implementación de medidas de eficiencia energética. Se destacada la reducción del consumo energético en vehículos, a partir de la disminución del tiempo en ralentí.





Ilustración 2: Ahorros y beneficios asociados a disminuir el ralentí [7].

Un ejemplo de implementación de tecnologías para mitigación del ralentí, es el uso de un calefactor de cabina, principalmente cuando un vehículo debe operar en temperaturas extremas, donde las unidades auxiliares de potencia y generadores, calefactores con combustible directo y sistemas de almacenamiento, se vuelven una gran opción para evitar el ralentí.

El programa también tiene una línea de trabajo con foco en las capacitaciones como, por ejemplo, es el curso de SmartDriver Chile y Industrial Energy Manager (IEM). El primero se orienta a la conducción eficiente, enfocado a los conductores y personal involucrado en la operación y mantención, interesados en la eco-conducción. Y el segundo es un programa para formar gestores energéticos para diversos sectores: industria, minería, transporte, entre otros.

La configuración de flota adquiere gran relevancia, debido a que es el primer paso que se debiese considerar al momento de abordar la eficiencia energética en el transporte de carga. Esta sección coloca a disposición contactos en la web del programa que guían a los socios en el proceso de selección del vehículo, que puede llegar a ser muy complejo y requerir de un alto grado de conocimiento.

Giro Limpio promueve el avance hacia las nuevas tecnologías y la electromovilidad, siendo partícipe de pilotos de validación tecnológica. Respecto al transporte de última milla, se han implementado pruebas documentales en conjunto a la fundación Conecta Logística y, por otro lado, se ha articulado en conjunto al programa EUROCLIMA, el pilotaje de diferentes vehículos y equipos eléctricos de alto tonelaje que establecen progresivamente la electromovilidad en operaciones tradicionales.

Para más información sobre el programa, pueden visitar la página web de Giro Limpio, Oferta de Valor.



Por otro lado, se presentan nuevas normativas internacionales, como la norma **Euro 7/VII** de la Unión Europea (UE).

Esta nueva normativa tiene como objetivo asegurar el funcionamiento correcto del mercado, además de garantizar la protección ambiental y la salud de las personas [8].

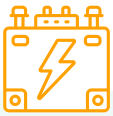
La norma Euro 7/VII es más estricta que la Euro VI en la limitación de los gases contaminantes como NO_X y CO. También incorpora la regulación de nuevos contaminantes.





REGULACIÓN PARA VEHÍCULOS PESADOS

TAMBIÉN INCORPORA



REGULACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LAS BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS [8].



CANTIDAD DE EMISIONES ASOCIADAS A NEUMÁTICOS Y FRENOS [8].

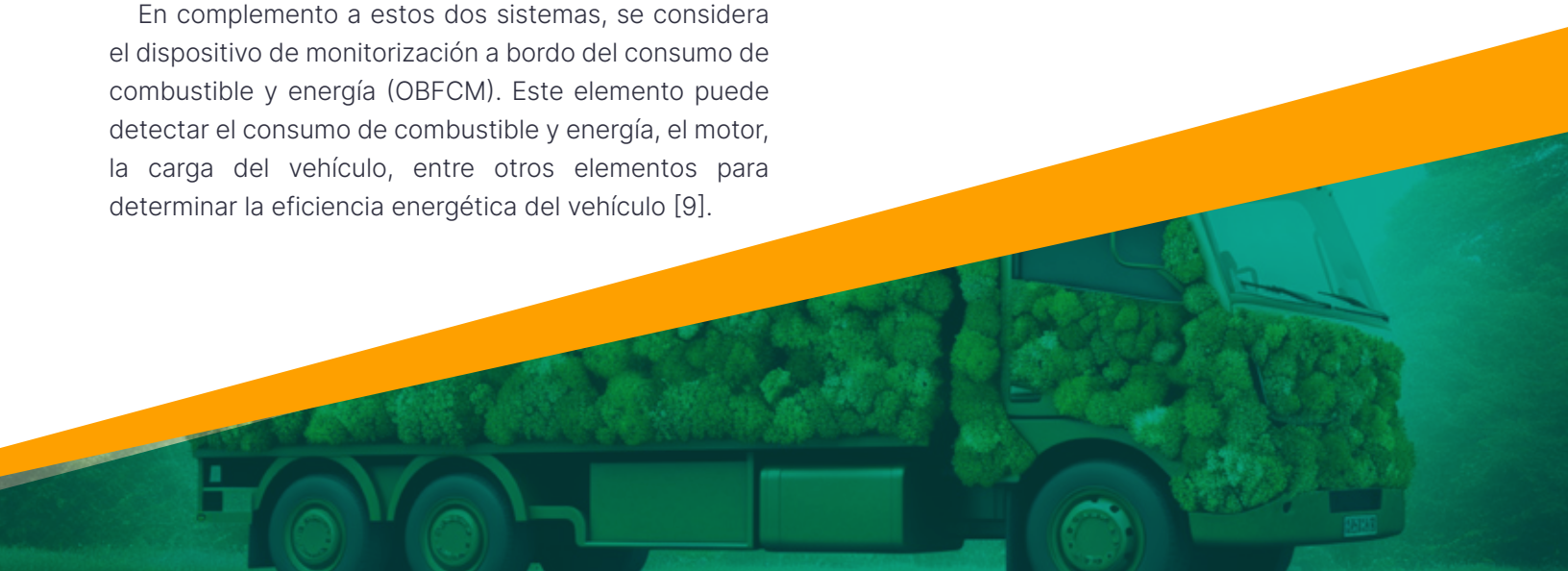
Además, integra un sistema de diagnóstico abordo, por sus siglas en inglés OBD, detecta las anomalías en las emisiones y activa las reparaciones correspondientes. Sin embargo, este sistema no detecta con exactitud las distinciones y no obliga a realizar reparaciones. Por lo tanto, se debe completar con el sistema de monitoreo abordo (OBM), que consiste en controlar constantemente el vehículo y enviar una señal para realizar las reparaciones correspondientes

En complemento a estos dos sistemas, se considera el dispositivo de monitorización a bordo del consumo de combustible y energía (OBFCM). Este elemento puede detectar el consumo de combustible y energía, el motor, la carga del vehículo, entre otros elementos para determinar la eficiencia energética del vehículo [9].

También prevé la vulneración del sistema, que puede llevar a la manipulación por parte de terceros, minimizando los riesgos de manipulación en los siguientes elementos:

- El motor y las unidades de control del motor.
- El sistema de inyección de combustible reactivo.
- Las baterías de tracción.
- Cuenta kilómetros.
- El sistema de control de emisiones [8].

Implementar diferentes tecnologías, estrategias y buenas prácticas que estén enfocadas en disminuir el consumo de combustible, generan un aporte real con respecto a la disminución del consumo de energético y, de esta manera, proporcionar ahorros monetarios y disminuir las emisiones. Estas herramientas en la actualidad están focalizadas en vehículos que utilizan combustibles derivados del petróleo.



3. Antecedentes y metodología

Consumo energético y emisiones para el sector transporte (STEP)

El **STEP** es un modelo que realiza proyecciones de emisiones y consumos energéticos en el sector transporte.

Esta herramienta se actualizó el año 2014 mediante STEP 2.0, y el año 2022 se actualizó al STEP 3.0. En este último año se publicó el informe "Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP)", cuyo propósito es informar sobre la actualización del modelo del STEP, mejorando las proyecciones de consumo energético y de emisiones generados por el sector transporte a nivel nacional y regional para el año 2050 [10].



Tasa de carga promedio[1] [ton/veh]: es el promedio de las toneladas que puede transportar un camión.

Categorías de modos de transporte

Para lograr los objetivos de este documento, se clasificaron los camiones según tipo de vehículo, motorización y norma de emisión, como se muestra en la tabla 1.

Tipo de Transporte	Tipo de vehículo	Motorización	Norma de emisión
Camiones	Camiones livianos (CAM LIV) Camiones medianos (CAM MED) Camiones pesados (CAM PES)	Diésel Eléctrico GLP Hidrógeno Fuel Cell Hidrógeno inyección directa	No catalítico E1 E2 E3 E4 E5 E6

Tabla 1: Modos de transporte de carga modelados [10].

La clasificación por tipo de camión se realizó según el peso bruto vehicular.

Tipo de camión	Peso Bruto [toneladas] (PB)
Camión Liviano (CAM LIV)	3,860 < PB≤7,5
Camión Mediano (CAM MED)	7,8≤PB≤16
Camión pesado (CAM PES)	16<PB

Tabla 2: Categoría de clasificación camiones [11].

Metodología para calcular el consumo de combustible y emisiones

Una vez establecidas las clasificaciones y categorías, se calculan las emisiones de CO_{2eq} y los consumos energéticos del sector transporte de carga terrestre.

El consumo de combustible depende principalmente de la carga transportada, los kilómetros recorridos y la velocidad de cada camión.

Por lo tanto, es necesario determinar los TKM, que son las toneladas-kilómetros, calculadas mediante la siguiente expresión:

$$TKM_{j,t} : \sum_{i}^{n} CC_{j,t} * X_{i,j,t} * TC_{i,t} * FdC_{i,j,t} \quad (1)$$

$X_{i,j,t}$ *Participación del modo i en el consumo de combustible j para cada año.*

$TC_{i,t}$ *Tasa de carga promedio del modo i [ton].*

$FdC_{i,j,t}$ *Rendimiento promedio del modo o para el combustible j.*

$CC_{j,t}$ *Consumo de combustible [10].*

Los valores relacionados a la tasa de carga promedio[1] que se utilizaron fueron de 7 [ton/veh] para camión liviano, 8 [ton/veh] camiones medianos y 14 [ton/veh] para camiones pesados. El primer valor se obtuvo del informe de la Actualización de metodología del STEP 3.0, y los otros datos fueron proporcionados por Giro Limpio.

Categoría	Tasa de carga Giro Limpio [ton/veh]	Tasa de carga STEP 3.0 [ton/veh] [10]	Tasa de carga utilizada [ton/veh]
Camión liviano	6	7	7
Camión mediano	8	7	8
Camión pesado	14	14	14

Tabla 3: Valores de tasa de carga.

Los valores utilizados para el rendimiento asociado al diésel fueron de 4 [km/l] para camiones livianos y medianos, y de 2,35 para camiones pesados.

Para obtener el rendimiento, se comparó los valores obtenidos por Giro Limpio y los que se utilizaron el STEP 3.0.

Categoría	Modelo COPERT/ STEP 3.0 Rendimiento [km/L] [10]	Giro Limpio GL Rendimiento [km/L]	Rendimiento utilizado [km/L]
Camión liviano y mediando	4	4	4
Camión pesado	2,35	2,7	2,35

Tabla 4: Rendimientos para las diferentes categorías.

Como se puede observar en la tabla 4, el rendimiento para camiones livianos y medianos es el mismo entre ambas fuentes. Sin embargo, Giro Limpio presenta un rendimiento más alto para los camiones pesados, esto se debe a que muchas de las empresas asociadas a este programa han implementado estrategias para mejorar la

EE, por lo tanto, se considera que el valor utilizado en el STEP3.0 representa de mejor manera la flota nacional. La razón de lo último es que no todas las empresas transportistas implementan medidas de EE.

Para realizar las proyecciones en el tiempo de TKM se utiliza un modelo econométrico, que depende del crecimiento poblacional, el PIB y el precio del combustible. Se asume que la demanda se correlacione positivamente respecto al ingreso y crecimiento de la población y negativamente al precio del combustible.

$$log(TKM_{i,t}) = a + b * log(PIBR_{i,t}) + c * log(Pd_{i,t}) + b * log(Pob_{i,t}) + u_{i,t} \quad (2)$$

i	*Corresponde a la Región.*
t	*Año de estudio.*
Pd	*Precio del combustible.*
Pob	*Población regional.*
$PIBR$	*Producto Interno Bruto Regional [10].*

a, b, c, d son parámetros y u es un error aleatorio que van cambiando para cada región. Se utilizó el método de mínimos cuadros para determinar la mejor ecuación que se ajusta al sistema.

A partir de los TKM, se puede obtener el nivel de actividad (VKM) para los camiones mediante la siguiente ecuación:

$$VKM_{i,j,t} = \frac{TKM_t * XC_{i,t}}{TC_{i,t}} * PC_{i,j,t} \quad (3)$$

$VKM_{i,j,t}$	*Proyección de vehículos-kilómetros del transporte de carga.*
j	*Tecnología asociada al modo de transporte i. Estas son: Diésel, Eléctrico, Hidrógeno Fuel Cell e Hidrógeno inyección directa.*
$PC_{i,j,t}$	*Porcentaje de participación por tecnología [10].*

Luego de obtener el nivel de actividad se calcula el consumo de energía ($CC_{i,j,t}$) y de emisiones ($E_{i,j,c,t}$):

$$CC_{i,j,t} = \frac{VKM_{i,j,t}}{FC_{i,j,t}} \quad (4)$$

$$E_{i,j,c,t} = VKM_{i,j,t} * \sum PN_{i,j,g,t} * FE_{i,j,g,c,t} * factor \quad (5)$$

$FC_{i,j,t}$	*Rendimiento promedio de la tecnología j.*
$PN_{i,j,g,t}$	*Participación de la tecnología según norma de emisión (g).*
$FE_{i,j,g,c,t}$	*Factor de emisión según modo, tipo de combustible (j), norma de emisión (g), contaminante (c).*
$factor$	*Factor de corrección [10].*

También hay que considerar que existen emisiones indirectas asociadas a la electromovilidad, esto se debe a que no se conoce la fuente de esta energía, esto quiere decir, que no se identifica si es que proviene de fuentes renovables o no, la energía que recibe el vehículo. Por lo tanto, se estima un factor de emisión a partir de la demanda eléctrica actual y proyectada.

El Centro de Energía de la Universidad de Chile, en conjunto al Ministerio de Energía y el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, realizaron un levantamiento de información sobre el consumo energético por tipo de vehículo [kWh/100km] [10]. Para el cálculo de las emisiones indirectas se multiplica el consumo [MWh] por el factor de emisión de la red eléctrica [tCO_{2eq}/MWh]. Se asume que la eficiencia mejorara en un 5% cada 10 años [10].

Factores de emisión por año	2025	2030	2040	2050
SEN FE [tCO_{2eq}/MWh]	0,22	0,05	0,01	0,01

Tabla 5: Factores de emisión relacionados al consumo de energía eléctrica [10].

4. Resultados obtenidos

A continuación, se presentan los diferentes escenarios obtenidos a partir de los antecedentes y metodología detalladas en las secciones anteriores.

Escenario 1

SUPUESTOS

2025
Incorporación de la normativa **Euro VI** en vehículos pesados [9].

2045
Prohibición de la venta de camiones que funcionen con combustión interna [12].

2050
Cumplir con los compromisos de la NDC

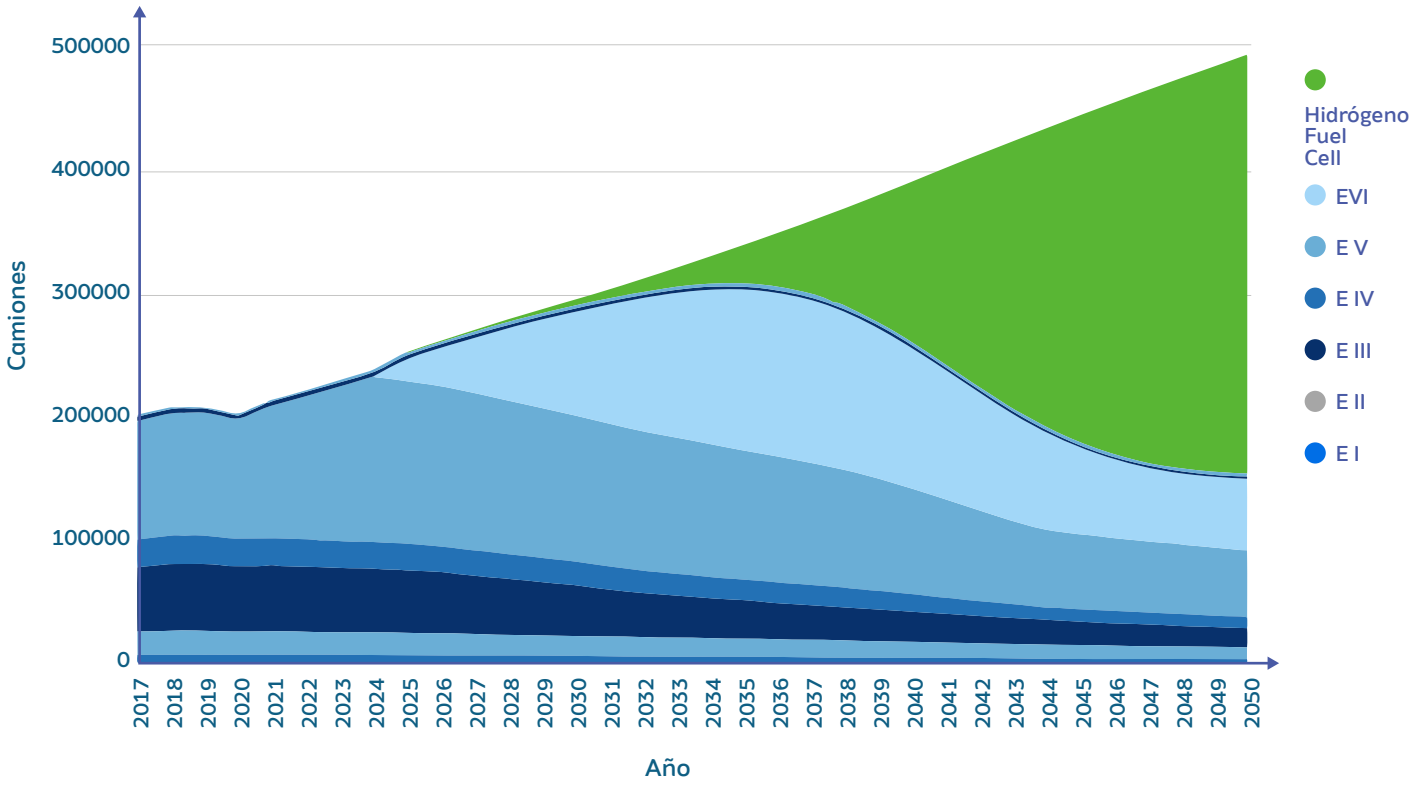


Gráfico 1: Evolución del parque de camiones desde el 2020 al 2050 según las diferentes tecnologías para el escenario 1. No se logra observar la presencia de camiones eléctricos debido al mínimo volumen de ventas proyectado [9].

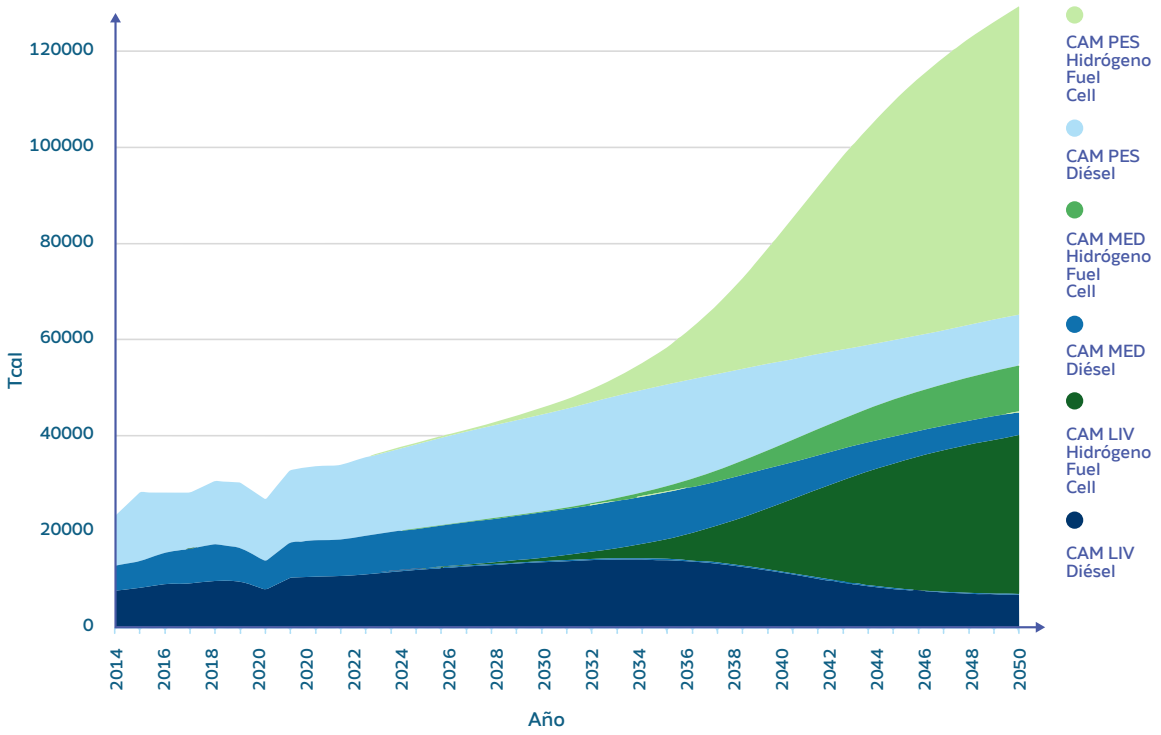


Gráfico 2: Proyecciones del consumo energético a nivel nacional para el escenario 1 para el periodo 2020-2050 [9].

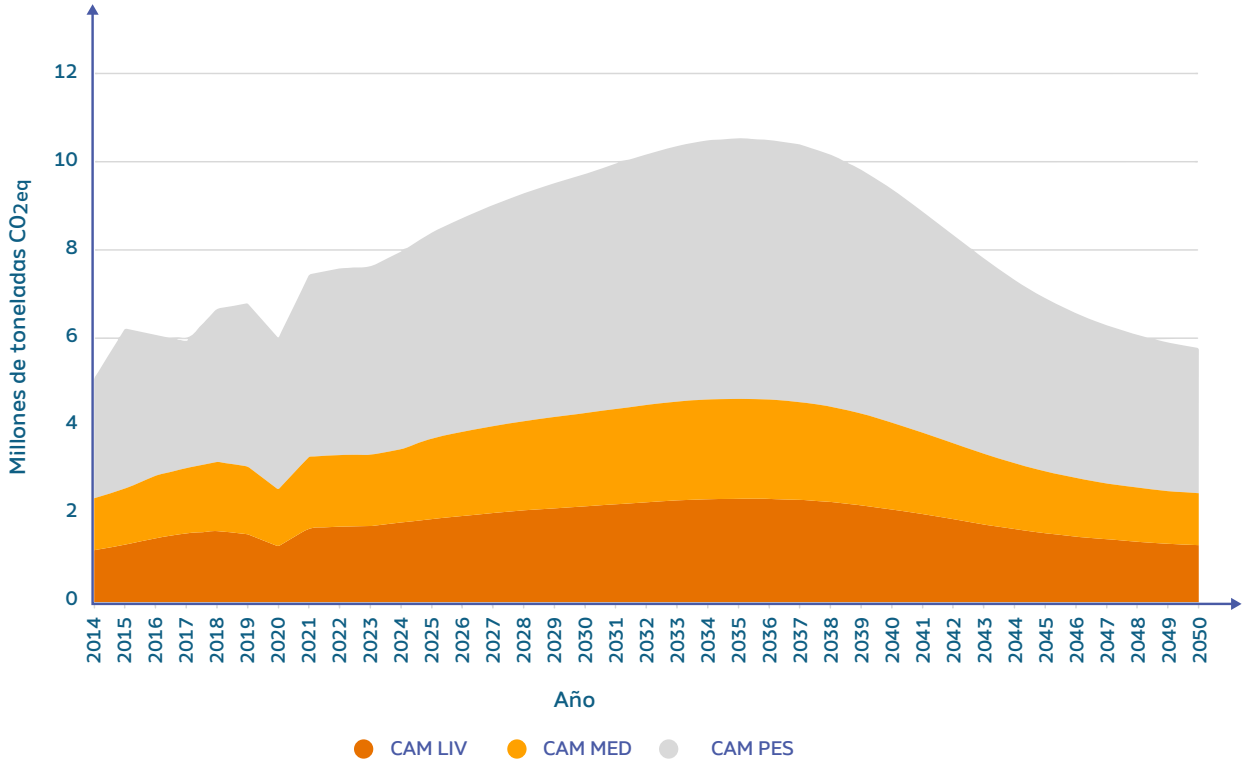


Gráfico 3: Proyecciones de emisiones de CO_{2eq} a nivel nacional para el escenario 1 para el periodo 2020-2050 [9].

Escenario 2

SUPUESTOS

2024
Incorporación de camiones que utilicen hidrógeno como fuente de energía.

2037
Incorporación de la normativa **Euro VII** en vehículos pesados [9].

2045
Prohibición de la venta de camiones que funcionen con combustión interna [12].

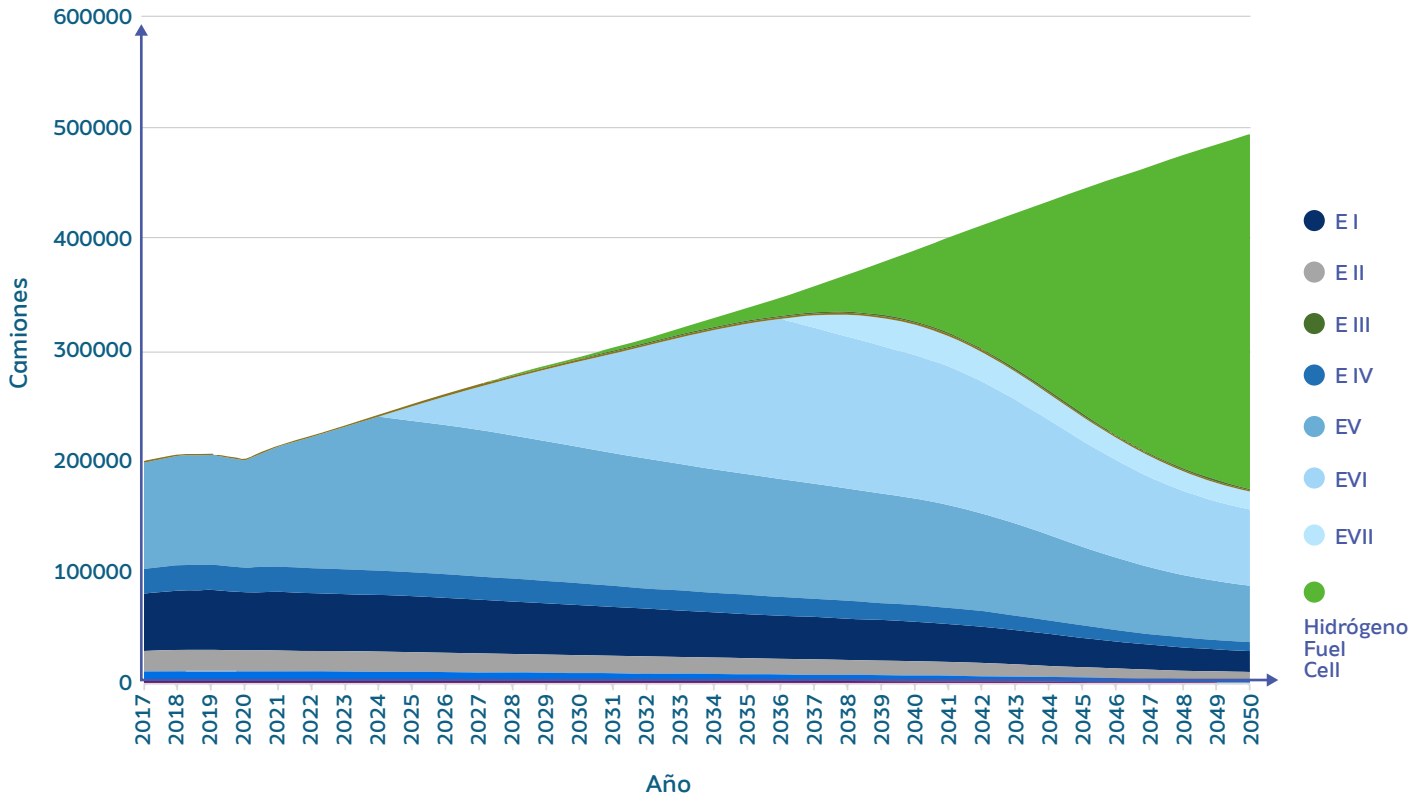


Gráfico 4: Evolución del parque de camiones desde el 2020 al 2050 según las diferentes tecnologías para el escenario 2. No se logra observar la presencia de camiones eléctricos debido a mínimo volumen de ventas proyectado [9].

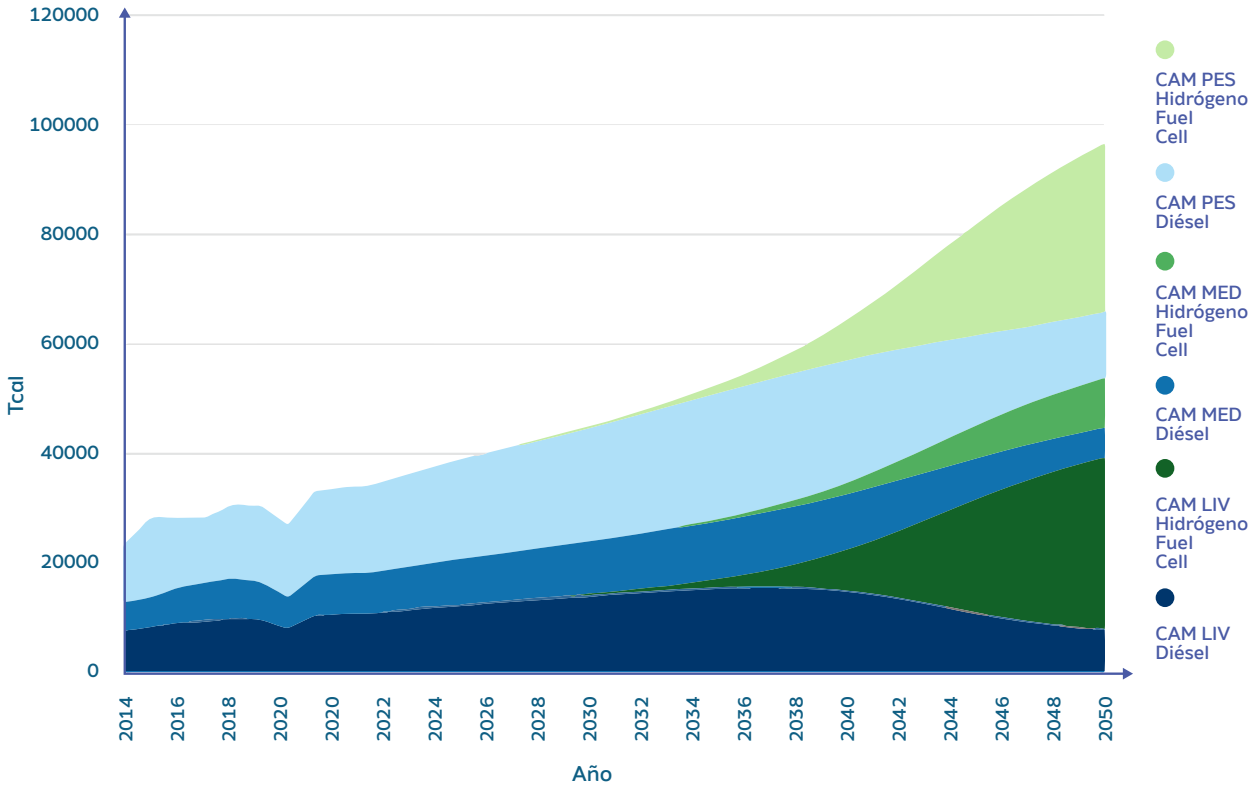


Gráfico 5: Proyecciones del consumo energético a nivel nacional para el escenario 2, periodo 2020-2050 [9].

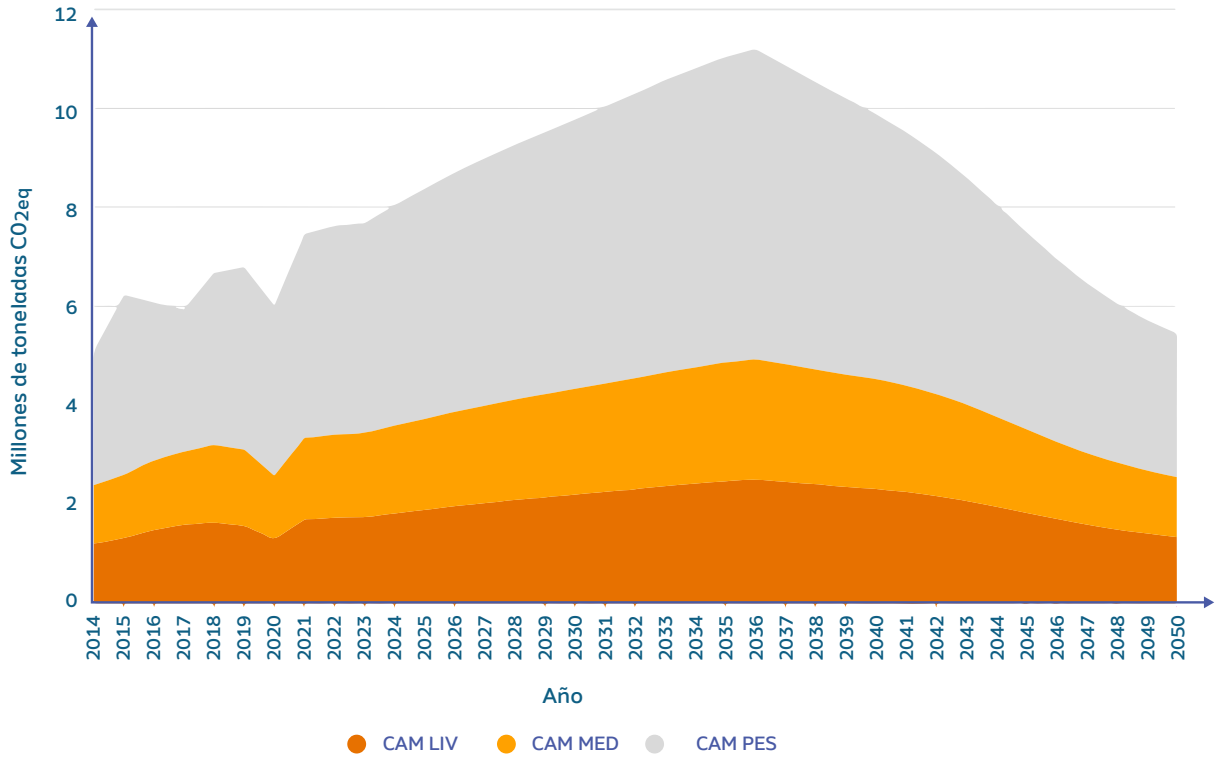


Gráfico 6: Emisiones de tCO_{2eq}, a nivel nacional para el escenario 2, periodo 2020-2050 [9].

Escenario 3

SUPUESTOS

2024

No se introducen nuevas tecnologías más limpias.

2025

Incorporación de la normativa Euro VI en vehículos pesados [9].

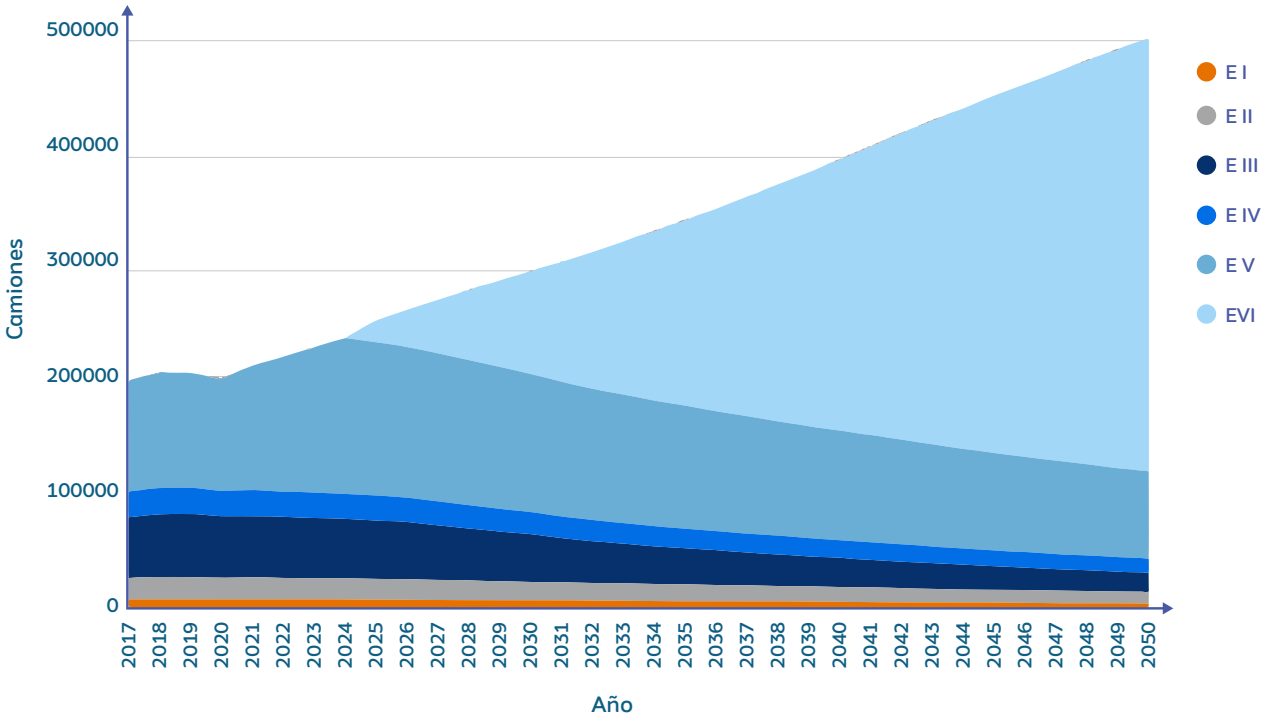


Gráfico 7: Crecimiento del parque de camiones desde el 2020 hasta el 2050 para el escenario 3 [9].

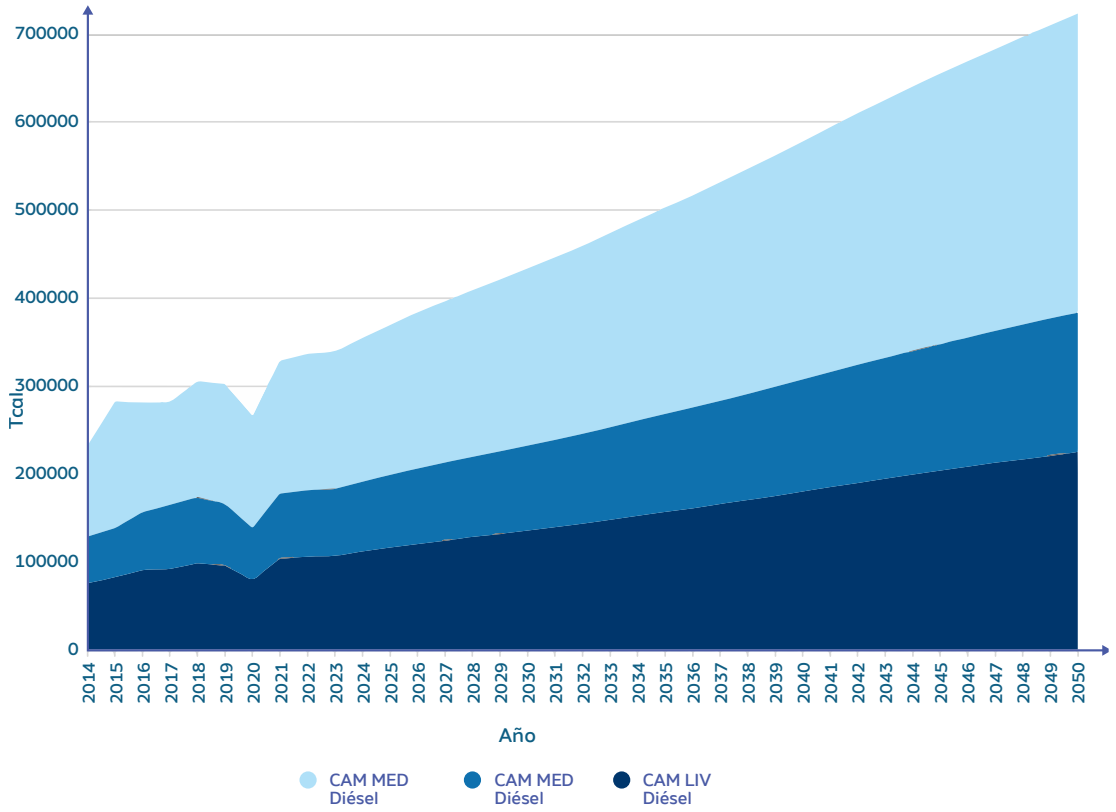


Gráfico 8: Proyecciones del consumo energético a nivel nacional para el escenario 3, periodo 2020-2050 [9].

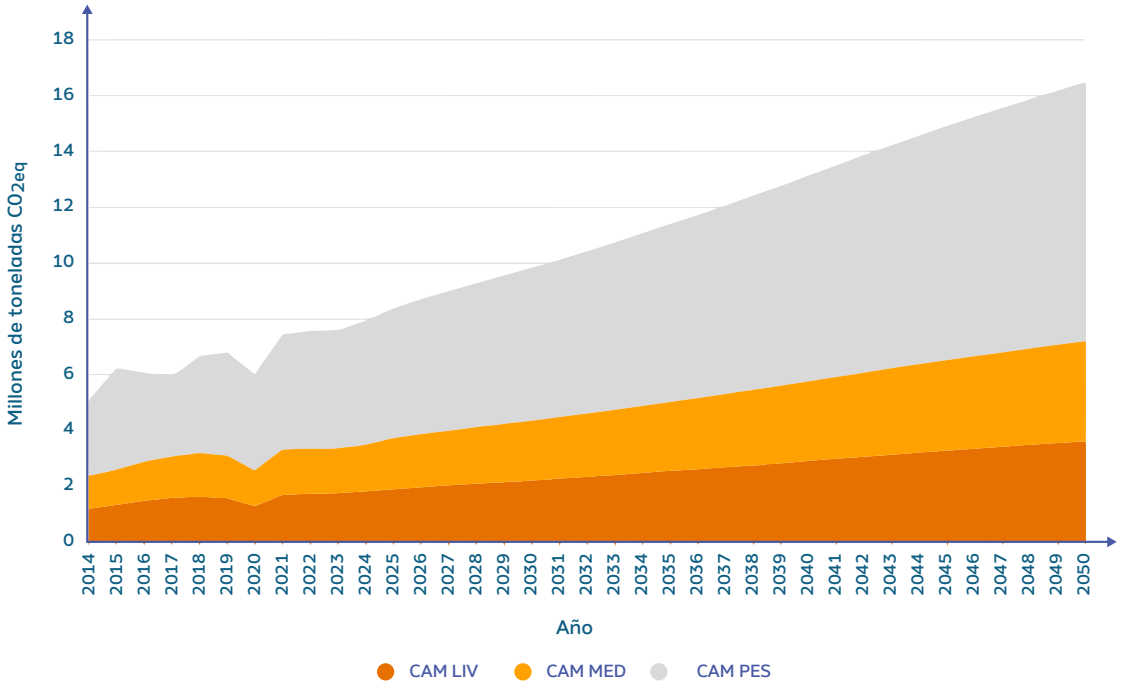


Gráfico 9: Proyecciones del consumo energético a nivel nacional para el escenario 3, periodo 2020-2050 [9].

5. Análisis

En el escenario 1, se consideró que el año 2021 se debería haber incorporado camiones FCEV obteniendo que para el año 2023 el 4,7% de los camiones deberían estar utilizando esta tecnología. Sin embargo, como este escenario ya no es factible se crearon los escenarios 2 y 3 [9]. Al observar el crecimiento del parque vehicular para los escenarios 1 y 2 (gráficos 1 y 4), se evidencia que la venta de camiones diésel empieza a decrecer antes de llegar al 2045, ya que comienza a aumentar la presencia de los camiones FCEV.

Según la tasa de crecimiento que se tiene para las tecnologías asociadas al hidrógeno, esta podría ser tan acelerada que incluso no alcanzaría a cubrir con la demanda requerida.

Finalmente, el escenario 3 muestra que se mantendría en el tiempo la venta de camiones diésel.

Consumo energético

Para visualizar las proyecciones de consumo energético se realizó la tabla 6, que muestra el consumo de energía para los años 2020, 2023, 2040 y 2050.

Consumo de energía [Tcal]	2020	2030	2040	2050
Escenario 1	26.695	44.139	78.974	129.455
Escenario 2	26.695	43.495	62.819	97.278
Escenario 3	26.695	43.389	57.816	72.291

Tabla 6: Resumen de las proyecciones de consumo energético para los diferentes escenarios [9].

Los tres escenarios tienen en común, que el consumo energético va creciendo a medida que van pasando los años. La principal causa es el aumento del parque vehicular al igual que el nivel de actividad.

Observa que para el escenario 1 se obtiene un mayor consumo energético en comparación a los otros dos escenarios. Esto se debe a que el hidrógeno tiene el potencial de liberar más energía que las otras fuentes de combustible. Sin embargo, este consumo no presenta emisiones directas al ser utilizado.

Emisiones

El gráfico 2 que corresponde a las emisiones de tCO_{2eq} según el escenario 1. Se observa que las emisiones aumentan en el tiempo hasta llegar al máximo, luego empiezan a decrecer. Este máximo se genera el año 2035 con un total de 10,5 millones de tCO_{2eq} [9].

En el gráfico 4 se muestra que el máximo de emisiones se genera el año 2038, con un total de 11,2 millones de tCO_{2eq}. Luego de este máximo las emisiones empiezan a decrecer hasta alcanzar 6,2 millones de tCO_{2eq} en el año 2050 [9].

En el gráfico 6 se aprecia como las emisiones aumentan en el tiempo a medida que van creciendo los consumos de combustible. De esta forma, se evidencia que en el año 2050 se podrían producir 16,5 millones de tCO_{2eq} [9].

Emisiones Millones tCO_{2eq}	2020	2030	2040	2050
Escenario 1	6,0	9,7	9,4	5,8
Escenario 2	6,0	9,8	11,0	6,2
Escenario 3	6,0	9,8	13,2	16,5

Tabla 7: Resumen de las proyecciones de consumo energético para los diferentes escenarios [9].

Al comparar el escenario 2 con el escenario 1, se identifica que ambos consideran la incorporación del hidrógeno como fuente de energía. En estos dos escenarios las emisiones se incrementan con el paso de los años, al igual que el consumo energético. Sin embargo, las emisiones alcanzan un máximo y luego empiezan a decrecer, esto se debe a que si se incorporan y masifican tecnologías más limpias, se apoya la reducción de las emisiones del parque vehicular de camiones. Esta información se puede contrastar con el escenario 3, donde no se incorporan tecnologías más limpias y se evidencia que las emisiones van creciendo con el tiempo.

Estos escenarios difieren principalmente en dos factores, el primero es el año en que se introducen camiones que utilizan hidrógeno y el segundo asociado a la incorporación de la norma Euro VII en el escenario 2. Sin embargo, la tecnología que marca la mayor diferencia en la emisión de CO_{2eq} es la que está asociada al hidrógreno.

De lo anterior, se desprende que la incorporación de la venta de camiones Euro VII en el año 2037 es muy baja en comparación a los camiones que utilizan hidrógeno.En consecuencia, el ingreso de esta normativa no genera un impacto significativo en el consumo de combustible ni en las emisiones.



6. Conclusiones

Realizar diferentes proyecciones asociadas al sector transporte, es importante para establecer las diferentes medidas que se deben implementar para llegar a ser un país carbono neutral. La implementación de tecnologías más limpias es crucial para lograr este propósito. Además, al reducir las emisiones se podría mejorar la salud de las personas y el bienestar del medio ambiente.

También, existen estrategias y leyes que promueven la urgencia de adaptarse y combatir esta crisis climática. Dentro de estas destacan herramientas para eficientar los consumos energéticos a nivel nacional, como la Ley 21.305 y el Plan Nacional de Eficiencia Energética. Por otra parte, existe el programa Giro Limpio cuyo objetivo es hacer más eficiente los consumos energéticos del sector transporte de carga entregando así diferentes herramientas que permitan la gestión energética.

También, se cuenta con el apoyo de herramientas como el STEP, que realiza proyecciones de emisiones y consumos energéticos en el sector transporte. De esta manera, se visualiza el posible impacto que se podría generar en el país según diferentes escenarios que se puedan plantear. A partir de esta herramienta se diseñaron 3 escenarios diferentes enfocados en el sector transporte de carga terrestre, los cuales son presentados a continuación:

	2050 Consumo energético [Tcal]	2050 Emisiones de CO_{2eq} [millones tCO_{2eq}]	2020 / 2050 Comparación de emisiones de CO_{2eq}
ESCENARIO 1	129.455	5,8	-4%
ESCENARIO 2	72.291	6,2	+3%
ESCENARIO 3	97.278	16,5	+174%

Además, la implementación de una nueva normativa para el año 2037, no produce gran impacto, ya que la tasa de ventas de camiones a hidrógeno es mayor que la tasa de ventas de camiones diésel. Por lo tanto, si se desea implementar esta normativa se recomienda evaluarla unos años antes respecto al año 2037 [9].

Para complementar los resultados obtenidos, se recomienda realizar un estudio para complementar los resultados obtenidos realizar un estudio en el que se evalúe la huella hídrica relacionada a la generación de hidrógeno, para tener más información sobre los posibles escenarios e identificar cuál es la mejor alternativa para implementar diferentes tecnologías. También, se recomienda estudiar la implementación de camiones eléctricos en la categoría de camiones livianos, reflejando así que su presencia podría ser mayor que la considerada en el presente estudio. Adicionalmente, se propone otro escenario para evaluar una situación intermedia entre el escenario 2 y 3 respecto al volumen de camiones FCEV.

Finalmente, este estudio refleja que el mejor escenario que se puede obtener es el primero, ya que es el que generaría la menor cantidad de emisiones de CO_{2eq} en comparación al escenario 2 y 3. Para el segundo escenario se identifican los posibles niveles de emisión del sector transporte carga al 2050 si se implementaran tecnologías más limpias en un plazo cercano. Por último, se obtiene el tercer y peor caso, señalando que el aumento de emisiones por alcanzar es realmente significativo, debido a que no se implementan tecnologías más limpias y, por esta razón, sería muy difícil de alcanzar la meta de ser un país carbono neutral.



Referencias

[1] Oficina de Transporte y Calidad del Aire de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, «Una evaluación nacional del transportede carga para Chile. Estableciendo fundamentos para una industria de carga más verde. Un informe para quienes diseñan políticas de transporte y calidad del aire en Chile», 2020.

[2] Ministerio de Medio Ambiente, «Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) Chile», 9 Abril 2020. [En línea]. Available: https://cambioclimatico.mma.gob.cl/contribucion-determinada-ndc/.

[3] Ministerio de Medio Ambiente, «Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile», octubre 2021. [En línea]. Available: https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/descripcion-del-instrumento/.

[4] Congreso Nacional de Chile, Ley 21455, 2022, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022, 30 de mayo.

[5] Congreso Nacional de Chile, Ley 21305, 2021, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021, 8 de febrero.

[6] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, «Plan de Eficiencia Energética», Santiago de Chile, 2022.

[7] Giro Limpio, «Reducción del Ralentí», [En línea]. Available: https://www.girolimpio.cl/oferta-de-valor/.

[8] Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, «Euro 7 standard proposal», 10 November 2022. [En línea]. Available: https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/euro-7-standard-proposal_en.

[9] C. V. Morcillo Núñez, «PROYECCIONES DE EMISIONES Y CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL SECTOR TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE EN CHILE PARA EL PERÍODO 2020-2050 [Memoria de título, Universidad Técnica Federico Santa María]», Repositorio Universidad Técnica Federico Santa María, 2023.

[10] Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones; Ministerio de Energía; FCFM, Centro de Energía, «Actualización Metodología del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP)», SECTRA, Santiago, 2022.

[11] Sectra, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, «Actualización de Perfiles de Flujo del Modelo Modem para el Gran Santiago y Regiones», Ingeniería DictUC, 2016.

[12] Ministerio de Energía, «Estrategia Nacional de Electromovilidad: Hoja de ruta para la descarbonización del transporte.», 11 julio 2023. [En línea]. Available: https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3773.

[13] United Nations, «Acuerdo de París», 2015. [En línea]. Available: https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris.

[14] Ministerio de Energía, Balance Nacional de Energía, 2021.

[15] Giro Limpio, «Caso de éxito, uso de un calefactor de cabina autónomo para el ahorro de combustible», [En línea]. Available: https://www.girolimpio.cl/oferta-de-valor/.

[16] Ministerio de Medio Ambiente, «Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático», 2020. [En línea]. Available: https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/01/Chile_4th_BUR_2020.pdf.

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

Agencia de Sostenibilidad Energética

Giro limpio

la ruta verde para Chile



GiroLimpio @girolimpio @GiroLimpio