



INFORME

Inventario de Gases de Efecto Invernadero Comunal para la Región del Biobío

Preparado para:
SEREMI Medio Ambiente, Región del Biobío
2023

www.cyclosustainability.com



Índice de contenidos

<i>Índice de contenidos</i>	1
<i>CYCLO</i>	2
<i>Contexto y Antecedentes</i>	4
<i>Objetivo 1: Inventario Comunal</i>	7
<i>Objetivo 2: Potencial de Mitigación de la Región</i>	19
<i>Objetivo 3: Análisis de Medidas de Mitigación</i>	30
<i>Bibliografía</i>	31
<i>Anexos</i>	33

CYCLO

Por qué CYCLO

Somos un grupo de profesionales expertos y expertas en **Análisis de Ciclo de Vida** y **cálculo y verificación de Huellas Ambientales**. Combinamos nuestra **experiencia docente y práctica** con un profundo compromiso con la transparencia y la mejora continua, fundamentado en nuestra **pasión y rigurosidad genuina** en lo que hacemos.

Equipo CYCLO para este proyecto

Jefe de Proyecto

Coordinadora de Proyecto

Ingeniero de Proyecto, apoyo en análisis de resultados

Ingeniera de Proyecto, apoyo logístico en terreno

Ingeniera Externa

Ingeniera Externa

Ingeniero practicante

Jorge Miranda Bernal

Mariana Bruning González

Oswaldo Villagrán Montenegro

Gabriela Quintana Carreño

Javiera Carrasco

Constanza Eslava

Francisco Aliste Weisman

Nuestra Experiencia

Nuestra experiencia se orienta al cálculo y verificación de huella de carbono, gestión integral en sustentabilidad y capacitaciones en Análisis de Ciclo de Vida, Huellas Ambientales, Huellas de Carbono, Ecodiseño y Economía Circular. A continuación, mencionamos algunos de nuestros proyectos:



Verificación, Capacitación y Asesoría de Proyectos de Reducción en Huella de Carbono Corporativa, 2020 y 2021, sellos 2019 y 2020.



Cuantificación de Huella Hídrica mediante la Water Footprint Network, 2021.



Cuantificación y Verificación de Huella de Carbono Corporativa para Chile, Perú, Colombia y Bolivia (2019-2022).



Verificación y Capacitación en Huella de Carbono Corporativa, 2020 y 2021, sellos 2019 y 2020.



Análisis de Ciclo de Vida de Envases, Huella de Agua, 2021.



Análisis de Ciclo de Vida de Producto, Huella de agua, Huella de Carbono y Huella de Uso de suelo, 2021.



Verificación y Capacitación en Huella de Carbono Corporativa, 2021, sello 2020.



Verificación de Huella de Carbono Corporativa, 2019, 2020 y 2021, sellos 2017-2020 de Cuantificación, sellos 2019 y 2020 de Reducción y Excelencia.



Análisis de Ciclo de Vida de Producto, Huella de Carbono, en marco de Ecodiseño, 2020.

Contexto y Antecedentes

Antecedentes del servicio solicitado por la SEREMI del Medio Ambiente del Biobío

El Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), a través de la Secretaría Regional Ministerial (SEREMI) del Medio Ambiente de la Región del Biobío, mediante licitación pública, solicitó el servicio de **“Caracterización de las emisiones de gases y forzantes climáticos de vida corta en la Región del Biobío, a nivel comunal con énfasis en la comuna de Coronel”**. Los detalles de objetivos, actividades y productos presentados a continuación provienen de las bases técnicas de la licitación (lo escrito en cursiva fue copiado textualmente de las bases)[1].

El objetivo general de esta caracterización de gases de efecto invernadero (GEI) es:

“Elaborar un inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y forzantes climáticos de vida corta, tales como carbono negro, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles, a nivel regional y comunal, que permita enfocar las medidas de mitigación para la elaboración del futuro Plan de Acción Regional de Cambio Climático y del Plan Local de Cambio Climático, en la comuna de Coronel.”

Los **objetivos específicos** son:

- 1. Elaborar un inventario regional de emisiones de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta, tales como carbono negro, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles, a nivel regional y comunal.*
- 2. Evaluar el potencial de mitigación y definir metas u objetivos para la región en materia de mitigación; identificando las acciones de mitigación que están planificadas en la región con énfasis en la comuna de Coronel.*
- 3. Analizar las medidas de mitigación propuestas en instrumentos de gestión del cambio climático a nivel nacional y regional, de acuerdo a lo establecido en la Ley Marco de Cambio Climático.*

Cada objetivo específico tiene las siguientes actividades asociadas:

Objetivo Específico 1: Inventario regional de emisiones de GEI. Actividades del objetivo:

- 1. Analizar la información disponible relacionada con los datos de actividad estadísticos, paramétricos y factores de emisión del INGEI de Chile, serie temporal 2010-2020, identificando las brechas de información existentes.*
- 2. Estimación de las emisiones y absorciones de Gases de Efecto Invernadero de origen antropógeno no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando las directrices del IPCC, para la serie temporal de 2010 a 2020 para la región del Biobío y la comuna de Coronel. Utilizando como base la información disponible en el Inventario Regionales De Gases de Efecto Invernadero (IRGEI) elaborados por el SNICHILE del MMA (<https://snichile.mma.gob.cl/resultados-regionales/>). Las áreas que se deben incluir deben ser comparables al del inventario nacional de GEI de Chile incluidos los sectores de energía; Procesos industriales y uso de productos (IPPU); Agricultura; Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y Silvicultura (UTCUTS; y Residuos).*

3. *Identificación de fuente de carbono negro a nivel regional, utilizando como base la información disponible en el inventario Regionales de Carbono Negro (IRCN), elaborado por el MMA.*

Objetivo específico 2: Evaluar el potencial de mitigación y definir metas. Actividades del objetivo:

1. *Mediante el análisis de Inventario de Gases de Efecto Invernadero y contaminantes climáticos de la región y su proyección y definir metas u objetivos para la región en materia de mitigación; identificando las acciones de mitigación que están planificadas en la región.*
2. *Realizar una propuesta de medidas a nivel regional y local como insumo para la elaboración de los planes de acción regional y local, en la comuna de Coronel, ante el cambio climático.*

Objetivo específico 3: Analizar las medidas de mitigación. Actividades del objetivo:

1. *Analizar las medidas de mitigación en los planes sectoriales de cambio climático, los objetivos y metas ECLP, compromisos NDC, Informe Bienal de Actualización 2020, y otros instrumentos de planificación regional, que tengan relación con la región, considerando sus efectos en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático a nivel regional. Determinar la aplicabilidad de las medidas en función de las necesidades y prioridades regionales para enfrentar el cambio climático en la región, estableciendo los vínculos entre los distintos instrumentos de gestión del cambio climático a nivel nacional y regional, de acuerdo con lo establecido en la Ley Marco de Cambio Climático. Realizar lo mismo a nivel local para la comuna de Coronel.*

La realización de las actividades para el cumplimiento de los objetivos se documentará en los siguientes productos:

Producto	Contenido
Primer Informe de Avance	El informe deberá contener el cumplimiento de los productos establecidos en las actividades del objetivo específico 1.
Segundo Informe de Avance	El informe deberá contener el cumplimiento de los productos establecidos en las actividades objetivo específico 2.
Informe Final	El informe deberá contener el cumplimiento de todos los objetivos específicos.

El presente documento corresponde al Informe Final, que fue actualizado de su versión anterior tras correcciones SNiChile y HuellaChile del Ministerio del Medio Ambiente.

Antecedentes de la región del Biobío

La región del Biobío se encuentra en el límite sur de la zona central de Chile, entre los 36°26' y los 38°29' de latitud sur. Se divide en 3 provincias y 33 comunas, donde Concepción es la capital regional y forma parte del área metropolitana del Gran Concepción (ver Tabla 1). Posee una superficie de 24.021 km² y 26 ecosistemas terrestres que abarcan una superficie de 15.800 km². Su población es de 1.556.805 habitantes, con gran presencia de población mapuche y pewenche. Además, dentro de sus actividades económicas destacan la agricultura, actividad forestal, generación de electricidad, actividad industrial, y la docencia y desarrollo científico [2], [3].

Tabla 1: Distribución territorial de la Región del Biobío.

Provincia	Comuna	Provincia	Comuna
Arauco	Cañete	Bío-Bío	Alto Biobío
	Contulmo		Antuco
	Curanilahue		Cabrero
	Lebu		Yumbel
	Los Álamos		Tucapel
	Tirúa		Santa Bárbara
	Arauco		Quilleco
Concepción	San Pedro de la Paz		Laja
	Santa Juana		Los Ángeles
	Hualqui		Mulchén
	Florida		Nacimiento
	Concepción		San Rosendo
	Chiguayante		Negrete
	Hualpén		Quilaco
	Talcahuano		
	Penco		
	Tomé		
	Lota		
	Coronel		

Objetivo 1: Inventario Comunal

Objetivo 1: Actividad 1 - Análisis del INGEI

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) serie 1990-2020 es parte del Quinto Informe Bienal de Actualización (IBA) que Chile presenta ante la CMNUCC. El INGEI es realizado por el área de mitigación de la División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente (DCC del MMA), que sistematiza y actualiza el inventario nacional a través de la implementación del Sistema Nacional de Inventarios de gases de efecto invernadero de Chile (SNiChile) y sigue las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero [4], [5]. Los seis gases de efecto invernadero (GEI) considerados en el inventario son: Dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), Óxido de nitrógeno (N_2O), Hidrofluorocarbono (HFC), Perfluorocarbono (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6). Las emisiones y absorciones de los GEI son evaluadas -según su respectivo potencial del calentamiento global- en una unidad única, masa de Dióxido de carbono equivalente; el INGEI presenta sus resultados en kilotoneladas de Dióxido de carbono equivalente (ktCO_2eq). Además, el inventario se divide en los siguientes sectores: 1. Energía, 2. IPPU: sigla en inglés de Procesos industriales y uso de productos, 3. Agricultura, 4. UTCUTS: sigla en inglés de Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, 5. Residuos.

A continuación se presentan algunos resultados destacables del INGEI para la serie 2010-2020:

- El **balance** de GEI del país en el 2020 fue de **55.825 [ktCO_2eq]**, aumentando en un **239%** desde 2010 y disminuyendo un **4%** con respecto a 2018.
- La mayoría de las emisiones de GEI provienen del sector **Energía (76%** de las emisiones totales), principalmente por la quema de carbón mineral y gas natural para la generación eléctrica; y de diésel y gasolina para el transporte terrestre.

El INGEI se distribuye a nivel regional en el Inventario Regional de Gases de Efecto Invernadero (IRGEI) para diferenciar las emisiones y absorciones de GEI a nivel territorial. Los resultados del INGEI se distribuyen por región utilizando indicadores de intensidad o datos sustitutos (*proxys*) [6]. El IRGEI busca seguir los lineamientos del Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC) del Greenhouse Gas Protocol (GHGP) [7]; sin embargo, hasta el momento, el IRGEI 1990-2020 no clasifica las emisiones por alcances tal como lo estipula el GPC, debido a que no se ha reportado el Alcance 2 y no se ha estimado el Alcance 3.

En el IRGEI de la región del Biobío serie 1990-2020 se observa que emisiones de la región han crecido a lo largo del tiempo, y el año con mayores emisiones fue el 2017. La serie temporal del balance se puede ver gráficamente en Anexo 1. Gráficos y otros datos del IRGEI.

Además, sobre el IRGEI de la región del Biobío serie 2010-2020, determinado a partir del IRGEI de la serie completa y del Quinto IBA [5], se concluye:

- El **balance** de GEI del Biobío en el 2020 fue de **11.536 [ktCO₂eq]**, aumentando en un **155%** desde 2010 y disminuyendo un **18%** con respecto a 2018. El balance de esta región representa un **21%** del nacional.
- Excluyendo UTCUTS, las **emisiones** de GEI de la región del Biobío en el 2020 fueron de **11.557 [ktCO₂eq]**, aumentando en un **164%** desde 2010 y disminuyendo un **18%** con respecto a 2018. Las emisiones de esta región representan un **11%** de las nacionales.
- El sector **Energía** es el que más aporta a las emisiones regiones, a excepción del año 2017, en el que UTCUTS fue el sector con más emisiones, debido a los incendios forestales en la zona. La representación del sector Energía en el balance regional ha aumentado de un **66%** en 2010 a un **80%** en 2020 (ver Figura 1).
- Junto con los balances de las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Metropolitana, representan el 70 % de los GEI del sector **Energía a nivel nacional**.
- Junto con los balances de las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Maule, representan el 54 % de los GEI del sector **IPPU a nivel nacional**.
- Luego de la región Metropolitana es la segunda con más aporte a los GEI del sector **Residuos a nivel nacional** (54% y **12%** respectivamente).

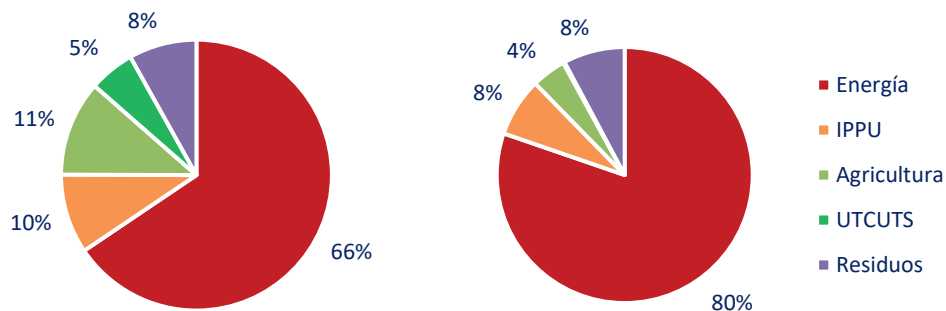


Figura 1: Distribución sectorial del balance de GEI de la región del Biobío año 2010 (a la izquierda) y 2020 (a la derecha). El balance en 2010 fue de 7.464 [ktCO₂eq] y en 2020 fue de 11.535 [ktCO₂eq].

Las emisiones del sector Energía dividen en: 1.A. Actividades de quema de combustible, 1.B. Emisiones fugitivas de combustible y 1.C. Transporte y almacenamiento de CO₂, siendo la primera la más significativa (más del 95 % del sector energía en toda la serie temporal 2010-2020). A su vez, este subsector se subdivide en 5, donde 1.A.1 Industrias de la energía y 1.A.3. Transporte son los principales emisores (ver Figura 2).

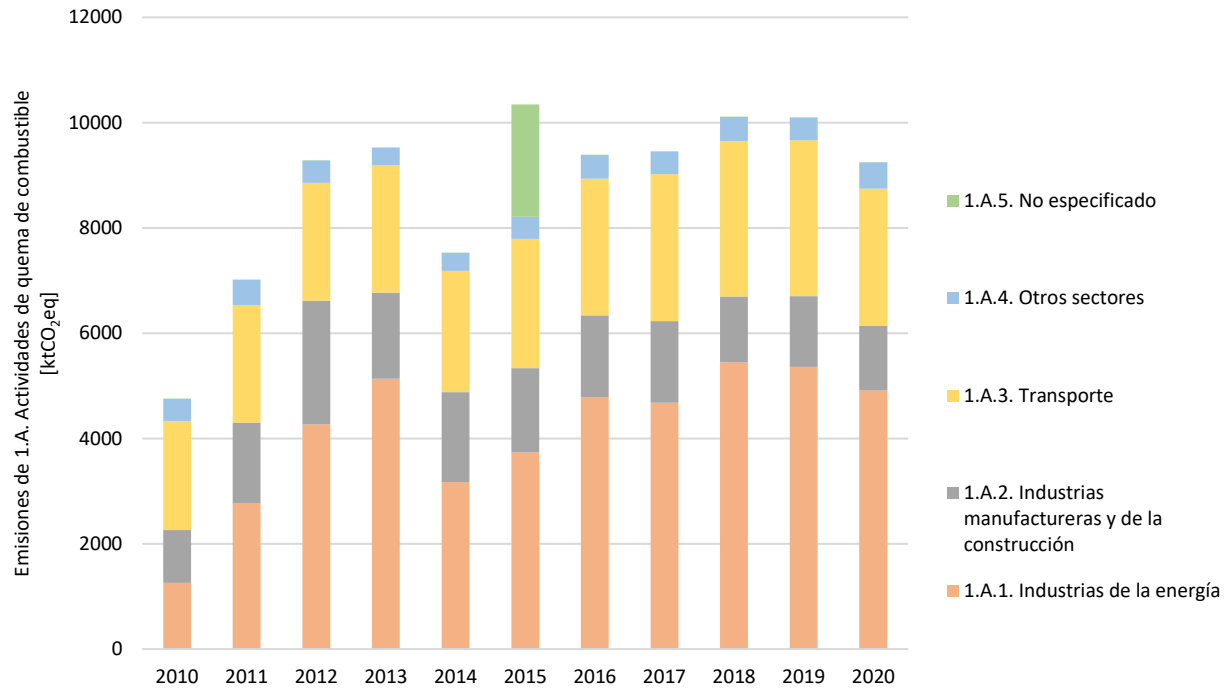


Figura 2 Emisiones de las subcategorías de actividades de quema de combustible del sector Energía en la región del Biobío, serie 2010-2020.

El Quinto IBA explicita que las principales brechas en el desarrollo de datos de actividad paramétricos y factores de emisión se deben a la falta de profesionales, en particular en los sectores IPPU, Agricultura y UTCUTS. La falta de profesionales capacitados en estos sectores, se origina de la falta de presupuesto destinada a la operación del SNiChile [5]. Estas brechas afectan a la región del Biobío y su inventario, teniendo en cuenta que:

- Como se mencionó, la región del Biobío se encuentra dentro de las 4 regiones del país que representan más de la mitad (54%) del balance nacional del 2020 para el sector IPPU.
- El sector Agricultura es el segundo sector que más aporta al balance de la región de los últimos 5 años (ver Figura 1).
- La región del Biobío tiene una importante actividad forestal y un alto riesgo de incendios de plantaciones forestales [8]. A mayor ocurrencia de incendios, mayor será la relevancia del sector UTCUTS a nivel regional, por lo tanto se debe avanzar a disminuir las brechas relevantes de este sector (factores de emisión).

Objetivo 1: Actividad 2 - Inventario Comunal GEI y CN Región del Biobío

Metodología del Inventario Comunal

El presente inventario comunal está basado en el inventario regional, IRGEI serie 1990-2020. Los resultados del IRGEI para la región del Biobío fueron proporcionados por profesionales del SNICHile a CYCLO. Los resultados se presentan para la serie 2010-2020.

Para obtener el inventario comunal a partir del IRGEI, se utilizó una metodología de asignaciones, en la que los resultados del inventario regional se distribuyen por comuna utilizando ponderadores de distribución. El modelo para esta asignación se representa en la Ecuación (1):

$$Emisión\ comunal\ anual_{ic} = \sum_s \sum_j P_{iscj} \cdot Emisión\ regional_{isj} \quad (1)$$

Donde:

- $i \in [2010, \dots, 2020]$, i.e. años del inventario.
- $c \in [Concepción, Coronel, \text{etc.}]$, i.e. comunas de la región del Biobío.
- $s \in [Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS, Residuos]$, i.e. sectores del inventario.
- $j \in [1.A.1.a.i. \text{ Generación de electricidad, 1.A.1.a.iii. Refinación del petróleo, etc.}]$, i.e. subsectores del inventario.
- La $Emisión\ regional_{isj}$ proviene del IRGEI de la región del Biobío y P_{iscj} es un ponderador que depende del año, comuna, sector y subsector.

Los ponderadores se calculan en base a diferentes criterios. En términos generales, se definen estos ponderadores como una proporción del dato de actividad comunal sobre el regional (Ecuación (2)). Además, las emisiones comunales pueden agruparse por sector Ecuación (3).

$$P_{iscj} = \frac{Dato\ comunal_{iscj}}{Dato\ regional_{isj}} \quad (2)$$

$$Emisión\ comunal\ sectorial_{sc} = \sum_i \sum_j P_{iscj} \cdot Emisión\ regional_{isj} \quad (3)$$

Para determinar los **ponderadores**, se definieron distintos **criterios**, que son dependientes del sector y subsector. Algunos de ellos se muestran a continuación, y luego se describen los supuestos más importantes (más detalles en Anexo 1. Criterios de asignación comunal del IRGEI):

1. Ubicación y distribución geográfica: Las emisiones se asignan a la comuna o las comunas donde se encuentra la actividad emisora, de manera proporcional a su nivel productivo. Por ejemplo: las emisiones de 3.F. Quema de residuos agrícola en el campo, se distribuyeron en las comunas donde hay actividad agrícola y según la superficie comunal destinada a la producción agrícola.
2. Distribución por vivienda: Las emisiones se asignan según la proporción de viviendas por comuna, con respecto al número de viviendas de la región. Por ejemplo: las emisiones de la subcategoría 2.F.1.B Refrigeración doméstica, se ponderaron por la proporción de viviendas de cada comuna con respecto a las viviendas a nivel regional.
3. Distribución de vehículos: Las emisiones se asignan según la proporción de vehículos por comuna con respecto al número de vehículos de la región.
4. Distribución de animales: Las emisiones se asignan según la cantidad de individuos pertenecientes a una especie, género o familia de animales en la comuna con respecto a los individuos totales en la región.
5. Historial de incendios: Las emisiones se asocian en base a los registros de incendio para cada año y su respectiva comuna.
6. Distribución de uso de superficie: Las emisiones/absorciones se asignan a la comuna de manera proporcional a la superficie y su uso (agrícola, forestal, etc.).

Las principales **fuentes de información** utilizadas son el Instituto Nacional de Estadística (INE), el Censo, el Sistema Abierto de Energía del Ministerio de Energía, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente, el Sistema de Información Territorial de CONAF, las memorias anuales de las empresas y la Biblioteca del Congreso Nacional. Éstas y otras fuentes de información se encuentran detalladas tanto en la sección Anexo 1. Criterios de asignación comunal del IRGEI y en el material complementario “PONDERADORES_COMUNAL_2022_BIO.xlsx”.

Los **supuestos** para determinar los ponderadores en cada sector del inventario son:

- Todos los sectores:

En las actividades en que se usó el criterio de distribución por vivienda, se asume que el nivel de emisiones es proporcional a la población existente en la comuna. Para obtener el criterio poblacional, se usó la distribución poblacional de los censos del 2002 y 2017. Se consideró una distribución tipo escalón, es decir, la proporción anual comunal en la región (habitantes comuna /habitantes de la región) entre 2010 y 2016 es igual a la del 2002, y la proporción anual comunal entre 2017 y 2020 es igual a la del 2017 [9].

- Energía:

Se utilizaron datos de emisoras actualmente activas para: (i) 1.A.1.a.i. Generación de electricidad, donde se obtuvieron las empresas activas según los datos de Energía Abierta, (ii) 1.A.1.c.i. Manufactura de combustibles sólidos, utilizando datos de concesiones de minas de carbón, (iii)

1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial, donde se usó la ubicación de puertos y número de embarcaciones actuales. Esto influiría en el resultado histórico, pero no en el resultado de la distribución comunal para el último año del inventario [10][11].

Para las emisiones de 1.A.3.b. Transporte terrestre, se utilizó la base de datos de permisos de circulación del INE. Esta información corresponde al rango de años 2018-2020, por lo que, para los años previos, se consideró que para los años 2010 a 2017 se mantiene la proporción (de vehículos de cada comuna con respecto a la cantidad de vehículos regional) del 2018 [12].

- IPPU:

Las empresas consideradas en respectivos subsectores de emisión y la comuna donde se encuentran ubicadas son.

Subsector	Empresa(s)	Comuna
2.A Industria de los minerales • 2.A.1. Producción de cemento	Cementos Bío Bío	Talcahuano
2.B. Industria química 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo • 2.B.8.b. Etileno	Petroquim	Hualpén
2.C. Industria de los metales • 2.C.1. Producción de hierro y acero	CAP Acero Molycop	Talcahuano

La asignación de emisiones por 2.D.1. Uso de lubricantes se basó en la proporción de vehículos de la comuna con respecto a la región, dejando fuera otro tipo de maquinaria que use lubricantes y utilizando la base de datos de permisos de circulación del INE. Además, al utilizar esta base de datos, se toma como supuesto que la proporción de vehículos de cada comuna con respecto al total de vehículos regional se mantiene constante entre 2010 y 2018, al igual que en 1.A.3.b. Transporte terrestre.

Con respecto a la asignación de emisiones por 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, los principales supuestos utilizados son:

1. Las emisiones por 2.F.1.c. Refrigeración industrial se atribuyen a la industria de alimentos, en particular a la agropecuaria. Se utilizó la proporción de producción frutícola, cárnica y láctea a nivel comunal con respecto al regional. Para esto, se consideraron solo los productos con mayor producción a nivel regional, según datos de la ODEPA y el censo agropecuario [13], [14].
2. Otras emisiones de refrigeración se asignaron usando la distribución de vivienda.

Las emisiones por 2.G. Manufactura y utilización de otros productos se asignaron según la proporción de subestaciones eléctricas de cada comuna con respecto al total regional, se asumió que esta proporción es constante a lo largo de los años, y se utilizó información del Coordinador Eléctrico Nacional para el año 2022 [15].

- Agricultura:

El principal supuesto de este sector fue que el nivel de producción depende de la superficie, es decir, se asume que todas las tierras tienen el mismo rendimiento.

Se utilizaron los datos del censo agropecuario, en el que la información relevante para el inventario está solamente en el censo del 2007. Por lo tanto, la importancia comunal relativa se consideró constante para todos los años [16].

- UTCUTS:

Se consideró que la importancia comunal relativa se mantiene en toda la serie temporal. Por ejemplo, para la categoría 4.B.1. Tierras forestales, se usó la información del año 2015, pues no hay registros anuales. Las principales fuentes de información están asociadas a la CONAF [17], [18][19].

Finalmente, se asignó el cambio de uso de suelo por comuna según superficie comunal, es decir, se asume que el mayor cambio de uso de suelo se da en comunas de mayor superficie.

- Residuos:

El principal criterio (y supuesto) utilizado para determinar los ponderadores en este sector fue la distribución poblacional.

Resultados del Inventario Comunal

Inventario de GEI Comunal

El **balance** de GEI del Biobío en el 2020 fue de **11.536 [ktCO₂eq]**. Las comunas que más aportan al balance en 2020 fueron **Nacimiento, Talcahuano, Cabrero y Los Ángeles** con balances de 1.525 [ktCO₂eq], 1.501 [ktCO₂eq] y 1.460 [ktCO₂eq] respectivamente.

Las **emisiones** de GEI del Biobío en el 2020 fueron de **40.999 [ktCO₂eq]**¹ Las comunas que más emitieron en 2020 fueron Los Ángeles, Nacimiento, Mulchén y Arauco representando 7,4%, 3,7% y 3,5% de las emisiones regionales, respectivamente.

El sector con mayor aporte a las emisiones a nivel regional es el sector Energía. Sin embargo, a nivel comunal, no necesariamente se presenta la misma tendencia; por ejemplo, para Concepción, UTCUTS es el sector que más aportó emisiones en 2020, a pesar de las absorciones de este sector.

A continuación se presentan el balance y emisiones de las comunas que más aportan al balance regional. En el gráfico se incorporan otras comunas significativas, que se seleccionaron por estar dentro de las comunas más emisoras, ser localidades de empresas emisoras significativas (por ejemplo, producción de cemento) o tener alta densidad demográfica.

¹ Este valor no es igual al presentado en el IRGEI ya que éste considera también las emisiones provenientes del sector UTCUTS.

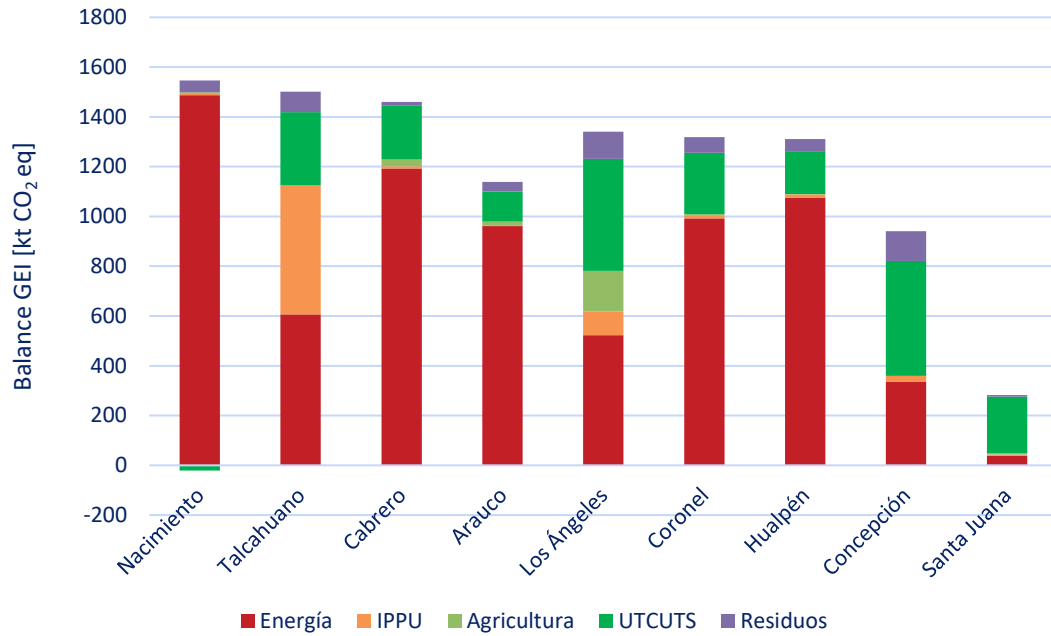


Figura 3: Balance GEI (emisiones y absorciones) del 2020 para las 9 de las 33 comunas de la región del Biobío.

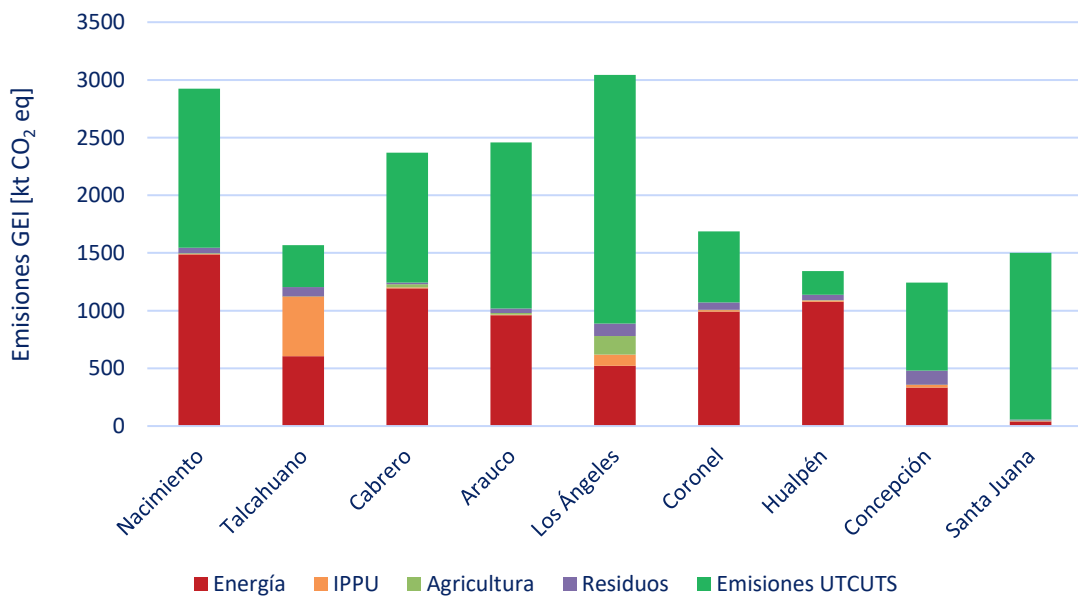


Figura 4: Emisiones GEI (incluyendo emisiones de UTCUTS) del 2020 para las 9 de las 33 comunas de la región del Biobío.

En el siguiente gráfico, se presentan estas mismas 9 comunas y su balance per cápita, es decir el balance de cada comuna se dividió por su respectivo número de habitantes. Se puede ver que algunas comunas con altas emisiones tienen un bajo balance per cápita, debido a que tienen un alto número de habitantes (Concepción, Los Ángeles, Talcahuano), mientras que otras con un bajo número de habitantes, tienen un alto balance per cápita, en otras palabras, pocas personas cargan con la emisión comunal, como ocurre notoriamente en Nacimiento. Por lo tanto, este indicador (balance de GEI pp) puede ser atractivo, siempre y cuando las principales fuentes de emisiones tengan directa relación con la actividad humana (por ejemplo, transporte en automóvil, tratamiento de residuos domiciliarios, etc).

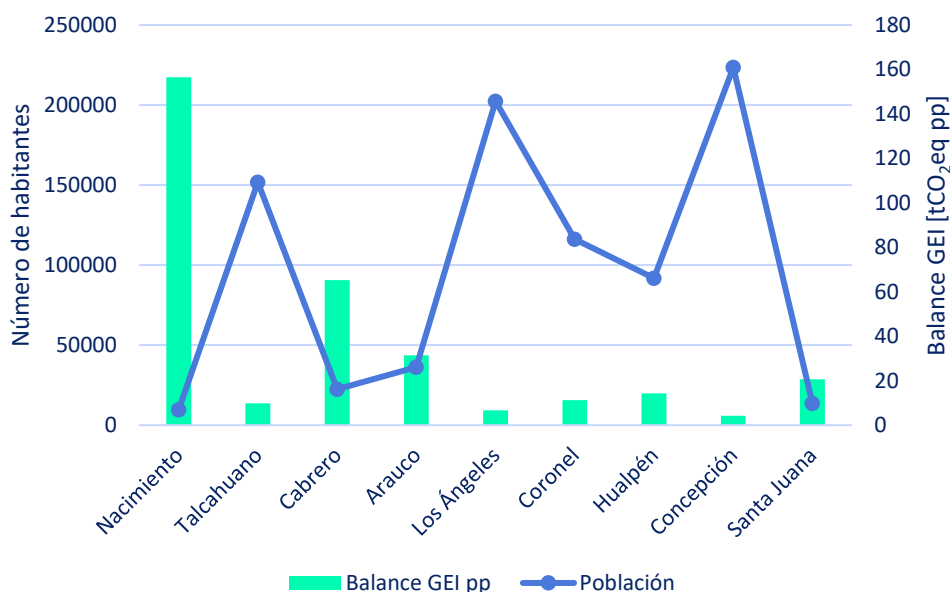
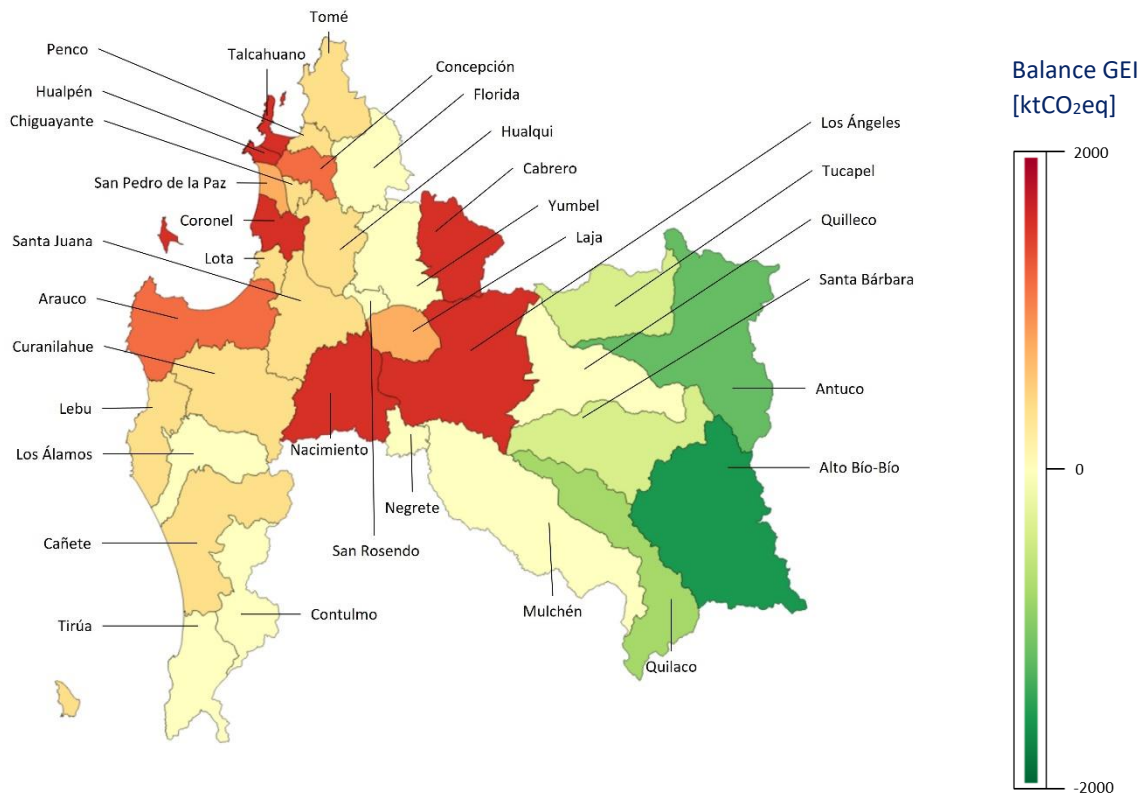


Figura 5: Balance GEI (emisiones y absorciones) per cápita del 2020 para las 9 de las 33 comunas de la región del Biobío.

En la siguiente figura se ve una representación geográfica del balance. Se presentan los balances del 2010, el primer año del presente inventario; del 2018, el año del inventario anterior; y del 2020 (ver Figura 6). Los detalles de los valores se presentan en la Tabla 2.

Figura 6: Esquemática del Inventario de GEI comunal de la región del Biobío. Arriba se muestra el mapa de la región y sus divisiones comunales con un gradiente de colores del balance del 2020 [ktCO₂eq]: las comunas más rojas emiten más (o absorben menos) GEI, mientras que las comunas más verdes absorben más. Abajo, se presenta una comparación entre los años 2010, 2018 y 2020.



Balance GEI a nivel comunal de la Región del Biobío del año 2020.

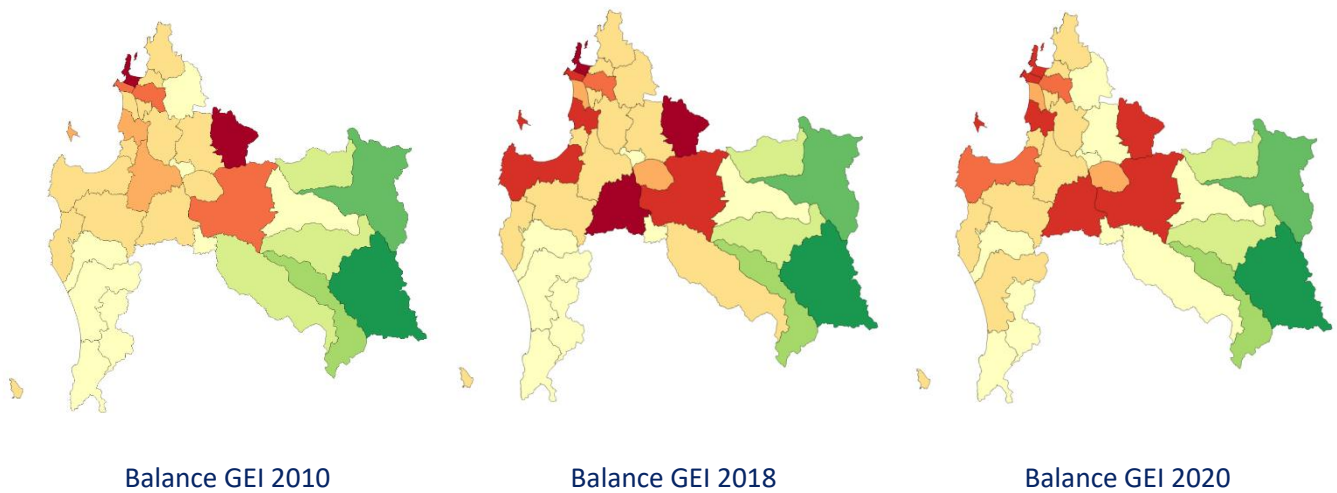


Tabla 2: Inventario GEI comunal para los años 2010, 2018 y 2020

Balance del inventario de GEI para la región del Biobío a nivel comunal [ktCO ₂ eq]							
Comuna	2010	2018	2020	Comuna	2010	2018	2020
Nacimiento	262,7	1909,9	1524,5	Lota	218,8	233,7	195,8
Talcahuano	1875,9	1719,3	1500,7	Lebu	184,8	289,2	187,4
Cabrero	1816,5	1801,8	1459,8	Yumbel	187,4	309,5	180,9
Los Ángeles	1117,5	1554,1	1340,9	Tirúa	47	166,3	172,9
Coronel	659	1516,7	1319,1	Negrete	81,4	112,7	125,3
Hualpén	1213,6	1336,5	1311,3	Florida	145,8	249	118,3
Arauco	489,4	1342,6	1138,4	Contulmo	-29,3	127,9	109,9
Concepción	940,3	1043,9	941,1	San Rosendo	28,4	45,6	32,9
Laja	247,8	871,3	753,7	Los Álamos	-19	70,4	-16,9
San Pedro de la Paz	438,5	621,6	609	Mulchén	-200,4	235,6	-85
Chiguayante	325,6	365,7	542,6	Quilleco	-156,7	33,8	-85,4
Cañete	-75,7	105,1	432,2	Tucapel	-386,2	-272,7	-330,2
Hualqui	444,2	313,5	392,2	Santa Bárbara	-430	-273,5	-399,8
Tomé	412,7	430,8	316,4	Quilaco	-678,6	-559,7	-623,7
Santa Juana	626,8	242,9	282,9	Antuco	-1170,6	-1057,3	-1043,7
Penco	236,6	282,6	261,5	Alto Bío-Bío	-1615	-1505,5	-1388,3
Curanilahue	224,7	418,6	258,9				

Los resultados detallados del inventario se encuentran adjuntos en el documento “IRGEI_COMUNAL_2022_BIO.xlsx”.

Inventario de Carbono Negro Comunal

El carbono negro (CN) es un tipo de material particulado que se produce durante la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Es un forzante climático de vida corta, es decir, tiene la capacidad de absorber radiación solar (posee un forzamiento entre 0,2 y 1 [W/m²]) y permanece en la atmósfera por poco tiempo, a diferencia de los GEI (que se mantienen por cientos de años). Sin embargo, a pesar de que su tiempo en la atmósfera es breve (días a semanas), su rango máximo de forzamiento tiene el mismo orden de magnitud que el dióxido de carbono, por lo tanto, su impacto en el calentamiento global es significativo. A la vez, ya que su tiempo de permanencia es corto, las acciones de mitigación de CN tendrán un efecto inmediato [20].

Por otro lado, el CN puede perturbar la formación de nubes, acelerar el derretimiento en la criósfera y afectar la salud humana, pues es aerosol respirable (MP2.5) y la exposición prolongada a partículas MP2.5 ha sido asociada con problemas de salud como enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón.

Por estas razones, en la NDC del 2020 de Chile, se incluye una meta de reducción de las emisiones de CN de al menos un 25 % a 2030 con respecto a los niveles de 2016 (18,8 [ktCN]).

En 2020, las emisiones de CN de la región fueron de **3,4 [ktCN]**, aumentando en un **133%** desde 2010 y un **109%** con respecto a 2018. Las emisiones de la región del Biobío representan un **17% de las nacionales** (19,8 [ktCN]). El sector que más aporta al inventario de CN es Energía y, al igual que el inventario de GEI, en 2017 se ve un aumento de las emisiones en sector UTCUTS, debido a los incendios forestales de dicho año (ver Figura 7).

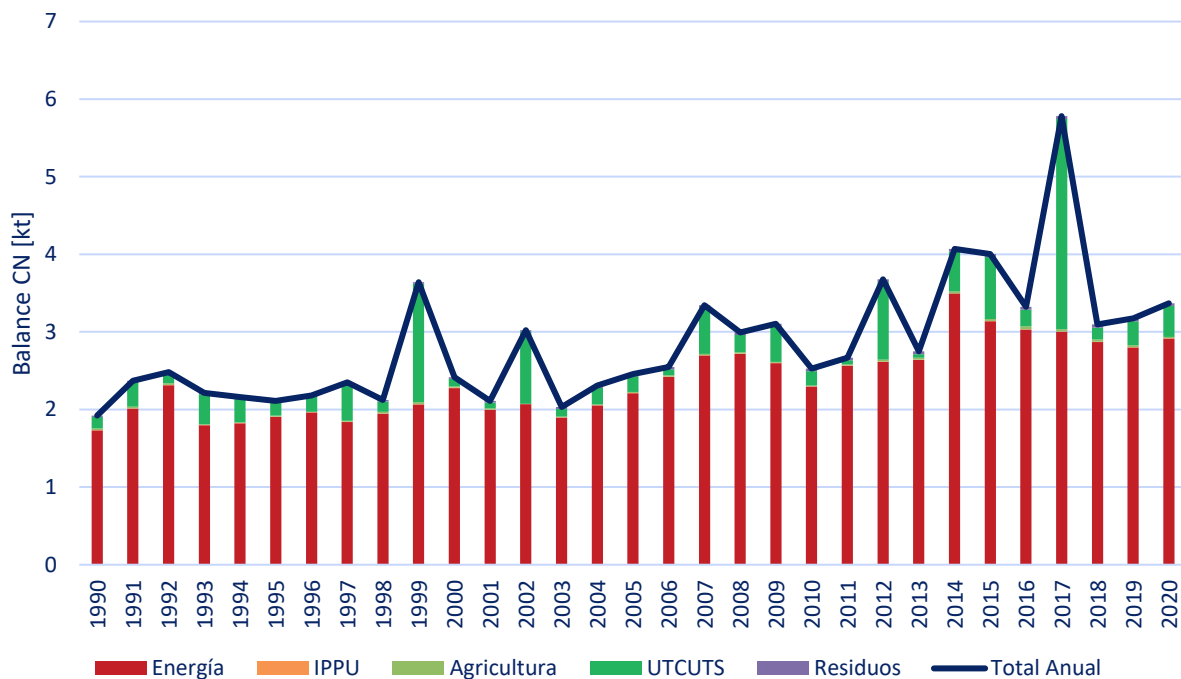


Figura 7: Emisiones de CN de la región del Biobío según sector, serie 1990-2020.

Los resultados del inventario comunal de CN utilizaron los mismos ponderadores que la designación para el inventario de GEI. De estos resultados comunales, se obtiene que las comunas con mayor emisión de CN en el 2020 son Nacimiento, Arauco y Laja, representando un 22%, 13% y 9% de las emisiones regionales respectivamente.

En la siguiente tabla, se comparan las emisiones de GEI y las de CN para las primeras 8 comunas más emisoras. Cabe notar algunas comunas se encuentran dentro de las primeras 8 en emisión de CN, pero no de GEI y viceversa; por ejemplo, Laja es la 3ª comuna más emisora de CN, pero la 14ª en emisiones de CO₂eq. Por lo tanto, se presentan de la siguiente manera: se presentan las primeras 8 comunas con mayor emisión de GEI [ktCO₂eq] -hasta Coronel-, de manera decreciente

en emisiones de GEI; luego, se añaden las comunas que pertenecen a las más emisoras de CN y que no se encontraban dentro de las más emisoras de GEI, ordenándolas de manera decreciente con respecto a la emisión de CN [tCN]. Además, se añadió un gradiente de colores que permite ver qué tan similares (en términos de posición relativa regional) son las emisiones por comuna.

Tabla 3: Comparación de emisiones de GEI y CN del año 2020. Se presentan 12 de las 33 comunas de la región del Biobío. Se seleccionaron las 8 comunas más emisoras de GEI y las 8 más emisoras de CN, donde solamente 4 comunas pertenecen a ambos grupos: Los Ángeles, Nacimiento, Arauco y Coronel.

Comuna	Emisiones [ktCO ₂ eq]	Emisiones [tCN]
Los Ángeles	3,043	223
Nacimiento	2,926	747
Mulchén	2,643	47
Arauco	2,459	450
Cabrero	2,370	40
Curanilahue	2,003	50
Cañete	1,735	117
Coronel	1,688	136
Laja	1,211	287
Concepción	1,243	202
Talcahuano	1,568	167
San Pedro de la Paz	740	125

El sector Energía es principal emisor de CN, y dentro de este el subsector 1.A. Actividades de quema de combustible. Un análisis de las fuentes de emisión dentro de este subsector, muestra que el sector residencial es el que más aporta.

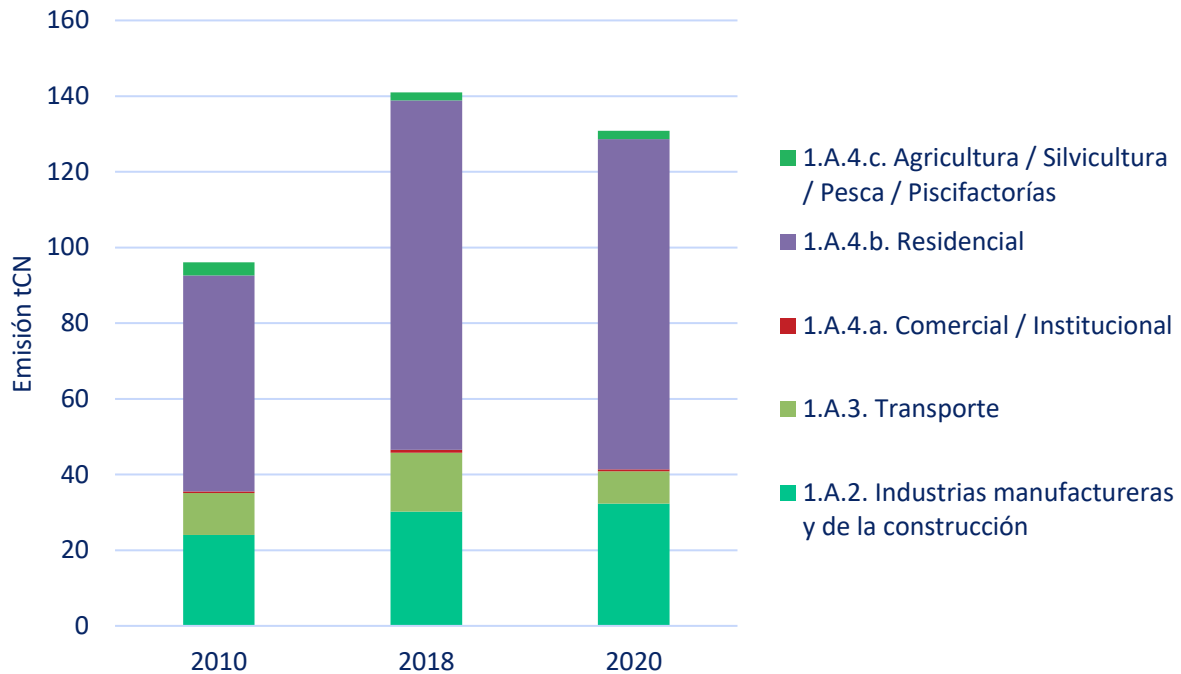


Figura 8: Emisiones de CN de la comuna de Coronel para los años 2010, 2018 y 2020 por subsectores de 1.A. Actividades de quema de combustible. Y subdivisiones de 1.A.4. Otros sectores.

Los resultados detallados del inventario se encuentran adjuntos en el documento “IRC_N_COMUNAL_2022_BIO.xlsx”.

Recomendaciones para Huella Territorial

El presente trabajo sirve como insumo para el desarrollo de huellas territoriales para las comunas de la región del Biobío mediante, sin embargo las comunas que deseen desarrollarlas deben complementar con fuentes de información de menor incertidumbre. Por ejemplo, para el sector residuos, se debe contrastar con la información reportada en SINADER.

Objetivo 2: Potencial de Mitigación de la Región

Objetivo 2: Actividad 1 - Metas y objetivos en materia de mitigación

Para determinar las metas u objetivos de la región en materia de mitigación, se desarrolló y ejecutó la siguiente ruta:

1. Enlistar las medidas propuestas en los instrumentos de acción climática propuestos en las bases técnicas de este proyecto, junto con otros instrumentos recomendados por la contraparte técnica.
2. Categorizar dichas medidas identificadas según alcance (Regional, Nacional)² y sector en el que influye (Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS o Residuos).
3. Seleccionar las medidas con acciones cuantificables para estimar cómo afecta al inventario; éstas serán las medidas evaluadas.
4. Evaluar el cambio en el inventario al realizar las medidas seleccionadas (medidas evaluadas) y jerarquizarlas según su nivel de impacto (reducción de emisiones de CO₂eq).

Los principales documentos revisados para el análisis de medidas fueron la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), las Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC), el Estudio de Vulnerabilidad Climática Regional y de las opciones de mitigación y adaptación con énfasis en el borde costero: “Caso de estudio Comuna de Coronel” y el PRAS (PRAS). A partir de esta revisión, se encontraron **79 medidas de mitigación** en materia de cambio climático. De estas medidas, 58 incluyen al sector Energía, 18 al sector IPPU, 2 a Agricultura, 13 a UTCUTS y 9 a Residuos³. Además, 29 de ellas tienen un indicador de cumplimiento cuantitativo. Los detalles de las medidas y su categorización se pueden ver en el Anexo 3. Medidas de mitigación y su categorización. De las **29 medidas** cuantificables, se priorizaron las que inciden en más de un sector y las más ambiciosas en materia de mitigación. Finalmente, buscando representar medidas para todos los sectores, se presentan a continuación cinco de ellas que fueron evaluadas para determinar su impacto en el inventario. La metodología utilizada para esta evaluación se detalla en el Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación. El cálculo se encuentra en el archivo anexo “MEDIDAS_IRGEI_2022_BIO.xlsx”.

² Las medidas a nivel nacional responden también al objetivo 3.

³ Nótese que la suma por sector es mayor que el total de medidas, ya que algunas medidas afectarán a más de un sector.

Medida 1 - Electromovilidad

La medida evaluada es: 40% de la flota de vehículos particulares eléctricos al 2050. 100% de transporte público eléctrico al 2040 de la Estrategia Nacional de Electromovilidad [21].

Los sectores influenciados por esta medida corresponden a Energía e IPPU. Para el caso de Energía, que es el sector donde se reporta el mayor potencial, se calculó las emisiones asociadas a la combustión de los vehículos y las asociadas a la generación de energía, para ambos casos se consideró constante la flota de vehículos en los años en comparación.

A partir de la cantidad de vehículos de cada subcategoría de la categoría 1.A.3.b Transporte terrestre, y de la cantidad de emisiones al 2020, se calculó un factor de emisión de referencia. Posteriormente, se calculó la cantidad de vehículos que pasarían a ser eléctricos, aplicando el 40% o 100% según correspondiera. Finalmente, se calculó las nuevas emisiones con la cantidad de vehículos a combustible fósil, utilizando el factor de emisión antes calculado, 2024 y 2050 por igual.

Para calcular las emisiones por generación de electricidad asociadas al consumo de electricidad de los vehículos eléctricos se calculó la energía requerida por los vehículos con motor de combustión usando rendimiento promedio del automóvil.

Un mayor detalle de la metodología se encuentra en la sección Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación. Y los resultados detallados se encuentran en "MEDIDAS_IRGEI_2022_BIO.xlsx".

Tabla 4: Resumen de resultados de análisis de la medida "40% de la flota de vehículos particulares eléctricos al 2050. 100% de transporte público eléctrico al 2040".

Documento donde se propuso	Estrategia Nacional de Electromovilidad	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Energía	- Transporte terrestre - Generación de electricidad
	IPPU	Uso de lubricantes
Emisiones (excluyendo UTCUTS) regionales al 2020	11.535,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Energía: 9.294,9 [ktCO ₂ eq] Emisiones por IPPU: 858,2 [ktCO ₂ eq]
Emisiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq] (i)	18.742,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Energía aumentan un 77,5% Emisiones por IPPU disminuyen un 4%
Emisiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq] (ii)	10.106,4 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Energía disminuyen un 15,4% Emisiones por IPPU disminuyen un 0,3%

(i): Emisiones con factor de emisión de SEN (Sistema Eléctrico Nacional) año 2020.

(ii): Emisiones con factor de emisión de SEN (Sistema Eléctrico Nacional) proyectado al 2040.

Medida evaluada 2 – Tratamiento de purines

La medida evaluada es: Al 2025, contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros) de la Estratégica Climática de Largo Plazo [22].

Para esta medida, se realizó la proyección tomando como referencia la combustión de leña residencial (se asume este es el único combustible utilizado residencialmente). La base del cálculo es el calor proporcionado por la leña, se asume que el requerimiento de calor se mantiene constante. Para la generación de biogás, se utilizó la misma distribución que para los porcinos, reportada por el censo agropecuario del INE [23].

Entonces, teniendo en cuenta las respectivas distribuciones para el calor de leña y biogás, se obtiene que el biogás no es capaz de reemplazar totalmente a la leña, pero sí una fracción (la incidencia depende de la comuna). Posteriormente, dado que se tiene el calor generado por biogás y el calor de leña que se necesitará el 2050, es que se pueden estimar las emisiones al multiplicar cada uno de los calores por su respectivo factor de emisión y luego sumarlos.

Con respecto a Agricultura, considerando que los purines de cerdo afectan en la categoría de Gestión de Estiércol del IRGEI, es que en todas las filas de esta sección, en donde se hace mención a porcinos, marranas, verracos y juveniles, se descontó el 75% de las emisiones, dado que, ahora no emitirán por este concepto, sino que por combustión de biogás en el apartado de energía [23]–[27].

Un mayor detalle de la metodología se encuentra en la sección Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación.

Tabla 5: Resumen de resultados del análisis de la medida "Al 2025, contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros)".

Documento donde se propuso	Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Energía	Residencial
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> - Porcinos - Marranas - Verracos - Juveniles
Emisiones (excluyendo UTCUTS) regionales al 2020	11.535,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Energía: 9.294,9 [ktCO ₂ eq] Emisiones por Agricultura: 502,2 [ktCO ₂ eq]
Emisiones regionales al 2050	11.516,0 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Energía disminuyen un 0,1% Emisiones por Agricultura disminuyen un 2,6%

Medida evaluada 3 – Forestación

La medida evaluada es: Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación Carbono y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, que representarán capturas de entre 3,0 a 3,4 [MtCO₂eq] anuales al 2030.

Esta es una medida de la Contribución Determinada a Nivel Nacional [28]. Esta es una medida a nacional, por lo tanto para estimarla a nivel regional, se distribuyó la superficie a forestar de manera proporcional a la superficie de bosque por región. Se asume también que todos los árboles que serán incorporados presentan una capacidad similar de metabolización, además de que en su conjunto serán capaces de absorber la meta promedio de 3.200 [ktCO₂eq] [28].

Para definir la distribución comunal de las plantaciones propuestas en la medida, se creó un ponderador que expresa las superficies no gestionadas, de modo que la estrategia planteada no involucre el cambio de uso de suelo en otros sectores. Con este ponderador, es posible repartir tanto las hectáreas, como la capacidad de absorción de CO₂eq. Las filas a las que afecta son las de Planes de Manejo, que por simplicidad se asumió que mantendrán la composición por especie.

Un mayor detalle de la metodología se encuentra en la sección Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación.

Tabla 6: Resumen de resultados de análisis de la medida "Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas".

Documento donde se propuso	Contribución Determinada a Nivel Nacional	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	UTCUTS	<ul style="list-style-type: none"> - (Planes de Manejo) - Alerce - Ciprés Guaitecas - Araucaria - Ciprés Cordillera - Palma Chilena - Lenga - Coihue Magallanes - Ro-Hualo - RoRaCo - CoRaTe - Esclerófilo - Siempreverde
Emisiones (excluyendo UTCUTS) regionales al 2020	11.535,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones netas por UTCUTS: - 21,7 [ktCO ₂ eq]
Emisiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq]	11.265,2 [ktCO ₂ eq]	Emisiones netas por UTCUTS disminuyen un 1.245% Emisiones netas por UTCUTS al 2025: -292,3 [ktCO ₂ eq]

Medida evaluada 4 – Generación de residuos

La medida evaluada es: Al 2030, la generación de residuos por unidad de producto interno bruto se ha reducido en un 15% con respecto al 2020. En la Tabla 7 se resumen los resultados de la evaluación de la medida.

La medida afecta a la sección de residuos 5.A. Disposición de residuos sólidos. Se consideró que el factor de emisión de residuos sólidos es el mismo para todos los posibles tipos de residuos que pueden ser clasificados como sólidos. Para la obtención de las emisiones del año 2050, se asumió una reducción del valor en un 15% con respecto al del 2020.

Tabla 7: Resumen de resultados de análisis de la medida "Al 2030, la generación de residuos por unidad de producto interno bruto se ha reducido en un 15% con respecto al 2020".

Documento donde se propuso	Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Residuos	- Disposición de residuos sólidos
Emisiones regionales al 2020	11.535,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Residuos: 902,1 [ktCO ₂ eq]
Emisiones regionales al 2050	11.429,2 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Residuos disminuyen un 11,8%

Medida evaluada 5 – Disposición de residuos

La medida evaluada es: Al 2025, contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas.

Se tomó como supuesto que la distribución de las composteras o vermicomposteras es 1 por familia, por ende, para poder distribuir las 200.000 composteras por región, se utilizó un ponderador construido en base a la población de la región dividido en la población total del país. Con ello, se obtuvo que para la región del Biobío habrá 17.657 composteras disponibles. Luego, usando el ponderador de distribución poblacional, se asignaron las 17.657 composteras por comuna.

Para obtener la cantidad de residuos que serían tratados en las composteras de forma anual, se utilizaron los siguientes supuestos: el volumen de una compostera promedio es 0,3 m³, la densidad de los sólidos orgánicos corresponde a un 590 kg/m³, en un año se realizan aproximadamente 26 ciclos de compostaje, llevando que en un año el compostaje tratado fuera de 4614,6 kg/año. Con esta información, se obtiene la cantidad de residuos compostados y no compostados al año para cada comuna.

Posteriormente, se obtuvo las emisiones por compostaje y no compostaje utilizando los factores de emisión de 0,312 kg CO₂eq por kg de sólido orgánico (para los residuos no compostados) y de 0,004 kg CO₂eq por kg residuo orgánico tratado (para residuos compostados), utilizando como

supuesto que la emisión de CO₂eq de las composteras es equivalente a la del metano. Finalmente se suman ambas emisiones por comuna para obtener las emisiones del año 2050 [29], [30].

Un mayor detalle de la metodología se encuentra en la sección Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación.

Tabla 8: Resumen de resultados de análisis de la medida " Al 2025, contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas".

Documento donde se propuso	Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Residuos	- Disposición de residuos sólidos
Emisiones regionales al 2020	11.535,7 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por residuos: 902,1
Emisiones regionales al 2050	11.532,1 [ktCO ₂ eq]	Emisiones por Residuos disminuyen un 3,4%

Propuesta de medidas ante el cambio climático con énfasis en la comuna de Coronel

Utilizando los resultados del inventario de la región a nivel comunal, se obtuvo el inventario para la comuna de **Coronel**. Los principales resultados son:

El **balance** de GEI de la comuna en el 2020 fue de **1.319 [ktCO₂eq]**, aumentando en un **200%** desde 2010 y disminuyendo un **13%** con respecto a 2018.

Las **emisiones** de GEI de la comuna en el 2020 fueron **1.688 [ktCO₂eq]**, aumentando en un **168%** desde 2010 y disminuyendo un **10%** con respecto a 2018.

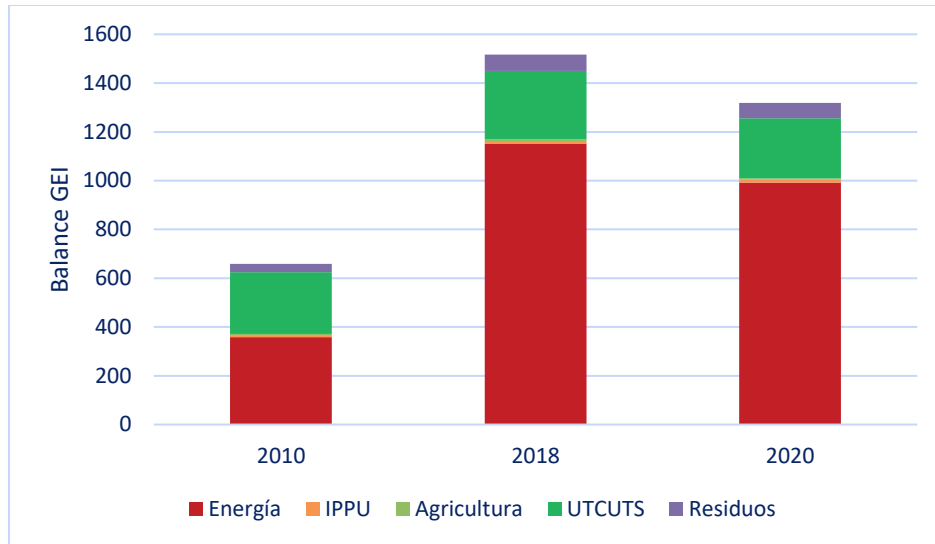


Figura 9 Distribución de emisiones de Coronel por sector para los años 2010, 2018 y 2020.

A continuación, se presenta un análisis sectorial de la comuna para el año 2020.

- **Energía:** El 80% de las emisiones del sector provienen de 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal, debido a la importante presencia de industrias de la energía en la comuna. El subsector 1.A.3. Transporte, representa el 9% de las emisiones del sector Energía y, dentro de éste, los automóviles y camiones de servicio ligero, son las fuentes de emisión más significativas.
- Los sectores IPPU y Agricultura no representan de manera significativa las emisiones de la comuna. Sin embargo, el 85% de las emisiones del sector provienen de 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono y dentro de este subsector, la principal emisión proviene de la refrigeración comercial; y las principales fuentes del sector agrícola son 3.A.1. Ganado vacuno y 3.2.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas.
- **UTCUTS.** El subsector que más aporta a las emisiones de UTCUTS en 4.A. Tierras forestales, principalmente por 4.A.1.b.i. Cosecha y 4.A.1.b.ii.2. Leña especies exóticas.
- **Residuos.** El 83% de las emisiones del sector provienen de 5.A. Disposición de residuos sólidos, en rellenos sanitarios.

En base a estos resultados, se presentan las siguientes propuestas de mitigación ante el cambio climático:

Energía

- Industria de la energía

Teniendo en cuenta que las actividades de quema de combustible representan la mayor parte de las emisiones, se propone, en términos de generación de electricidad: avanzar hacia la descarbonización de la matriz energética y aumentar la participación de energías renovables. Para la industria manufacturera de combustibles sólidos, se propone evaluar otros combustibles

sustitutos, considerando todas las etapas de su ciclo de vida, principalmente producción y uso, para determinar si es que estos combustibles sustitutos aportan a la reducción de emisiones.

- Transporte

La Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible propone el enfoque *EVITAR-CAMBIAR-MEJORAR* para reducir las emisiones de GEI producidas por la movilidad urbana [31].

- i. *Reducir viajes, en distancia (viajes más cortos) y en cantidad (menos viajes).*
- ii. *Cambio modal hacia modos que generen menos emisiones, que requieran menor consumo de combustible por pasajero o bien transportado, y un aumento en la diversidad de alternativas de transporte disponibles.*
- iii. *Adoptar tecnologías de propulsión basadas en una matriz energética más limpia.*

La estrategia propone 30 medidas que permitirían avanzar hacia una movilidad sostenible y señala que estas medidas deben ser estudiadas detenidamente en cada territorio. Es muy importante complementar la información de las emisiones de GEI para el transporte con la realidad del transporte en la comuna y de manera integrada con las demás comunas para evaluar medidas que se ajusten a la realidad territorial.

IPPU

Mejorar las tecnologías dentro del proceso de producción de cemento, por ejemplo I+D+i de nuevas adiciones en el cemento, para poder reducir el uso de Clinker como materia prima.

Agricultura

- Suelo Agrícola:

Potenciar capacitaciones a agricultores hacia técnicas agroecológicas y el cuidado de uso de fertilizantes, es decir, que les permitan determinar cuándo es necesario utilizar fertilizante, y sus dosis y momentos adecuados de uso, de esta forma, se evita la contaminación de suelos y cuerpos de agua superficiales y subterráneas.

- Gestión de Estiércol:

Analizar la factibilidad técnica y económica de la producción de biogás y/o compostaje a partir de purines, y potenciar esta tecnología en las comunas donde hay mayor actividad agropecuaria. Además, estudiar tecnologías previas a gestión del estiércol para la mitigación, por ejemplo: cambios de dieta de los animales.

UTCUTS

- Tierras Forestales:

Fortalecer la institucionalidad para la prevención de incendios, así como la fiscalización, prevención y la educación sobre los mismos. Aumentar la biomasa que permanece, por ejemplo,

mediante el aumento de la plantación de bosque. Disminuir la pérdida de biomasa, ocasionada por actividades como la tala de árboles e incendios. Para esto, se propone:

- i. Mejorar la recolección de información del uso de la leña para promover tecnologías más eficientes en su uso.
- ii. Promover corredores biológicos para la mantención de calidad del suelo y absorción de GEI.
- iii. Potenciar el uso de cortafuegos y la educación y normativas para la prevención de incendios.

Residuos

Considerando que la disposición de residuos sólidos representa el 69% de las emisiones del sector, se propone evaluar potencialidades de reducción de emisiones por tratamiento de residuos orgánicos. Las emisiones por disposición en relleno sanitario corresponden a más del 70% de las emisiones asociadas al sector Residuos en Coronel. Así, sería interesante evaluar qué porción de estas emisiones corresponde a residuos orgánicos. Si se compara las emisiones asociadas al tratamiento de residuos orgánicos en relleno sanitario y compostaje, se tiene que el primero genera 70 veces las emisiones de GEI del primero (calculado según los factores de emisión de DEFRA 2021 Relleno Sanitario: 626,875 kgCO₂eq - Waste Disposal/Refuse/ Organic: food and drink waste/Landfill – y, Compostaje: 8,951 kgCO₂eq - Waste Disposal/Refuse/ Organic: food and drink waste/Composting). Se recomienda calcular las masas de residuos orgánicos que son destinados a relleno sanitario a nivel comunal (podrían representar un 58% de la masa total de residuos sólidos municipales [32]) para evaluar alternativas a su manejo.

Objetivo 3: Análisis de Medidas de Mitigación

El objetivo específico 3 busca analizar las medidas de mitigación propuestas en instrumentos de gestión del cambio climático a nivel nacional y regional. Estas medidas fueron estudiadas en paralelo a la identificación de las acciones de mitigación que están planificadas en la región (actividad 2 del objetivo específico 2) y se encuentran detalladas en el Anexo 3. Medidas de mitigación y su categorización y el Anexo 4. Fichas de medidas de mitigación. De las medidas estudiadas, la que tiene un mayor efecto en materia de mitigación es la forestación.

Sobre los avances de planes sectoriales, Desde la División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente se menciona que los avances en la implementación de los planes sectoriales de adaptación y mitigación se están preparando para el segundo semestre del año 2023. Por lo tanto, se recomienda a las comunas contrastar las medidas abordadas en este trabajo con los avances en los planes sectoriales.

Para la comuna de Coronel, en términos de GEI, la principal fuente de emisión es la producción de energía, seguido de la cosecha y leña de especies exóticas en tierras forestales. Estos tipos de industria se caracterizan además por ser parte de los conflictos socioambientales de comuna, llegando incluso a denominarse “zona de sacrificio”. Por lo tanto, considerando que la producción energética no solo es la principal fuente de CO₂eq, sino también afecta la vulnerabilidad de las y los habitantes por el deterioro de la salud y el empobrecimiento de las comunidades, se debe potenciar una transición energética justa, incorporando soluciones basadas en la naturaleza. Por otro lado, las principales fuentes de emisión de CN en la comuna son las actividades de quema de combustible del sector residencial, por lo tanto, se deben evaluar medidas que permitan mejorar la eficiencia energética de los hogares de la comuna, principalmente enfocadas en la aislación térmica doméstica, seguido del cambio de calefacción a leña. El carbono negro posee un tiempo de vida corto -horas a días-, por lo tanto, las medidas que apunten a su reducción tendrán impactos inmediatos en la salud, la calidad del aire, de suelos y el clima local.

Bibliografía

- [1] SEREMI del Medio Ambiente Región del Biobío, “Caracterización de las emisiones de gases de efecto invernadero y forzantes climáticos de vida corta en la región del Biobío, a nivel comunal con énfasis en la comuna de Coronel. Bases administrativas, técnicas y documentos anexos para licitación pública.” Ministerio del Medio Ambiente, Concepción, 2022.
- [2] BCN, “Información Territorial Región del Biobío, Chile Nuestro País.”, *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 2023. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8> (accedido ene. 30, 2023).
- [3] Ministerio del Medio Ambiente, “Política regional para la conservación de la biodiversidad de la región del Biobío 2017-2030”. 2017.
- [4] K. Rypdal y N. Paciorek, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. IPCC, 2006.
- [5] Ministerio del Medio Ambiente de Chile, *Quinto Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Ministerio del Medio Ambiente, 2022.
- [6] Ministerio del Medio Ambiente, “Inventarios Regionales De Gases De Efecto Invernadero, Serie 1990-2018”, pp. 1–47, 2019.
- [7] W. K. Fong, M. Doust, y C. Deng-Beck, “Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. Execute Summary”. p. 12, 2014, [En línea]. Disponible en: www.ghgprotocol.org/city-accounting.
- [8] Ministerio del Medio Ambiente, “Estudio de Vulnerabilidad Climática Regional y de las opciones de mitigación y adaptación con énfasis en el borde costero: ‘Caso de estudio Comuna de Coronel’”, 2021.
- [9] INE, “Censo de Población y Vivienda 2017”, 2017. <http://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>.
- [10] Comisión Nacional de Energía, “Energía abierta”. <http://energiaabierta.cl/>.
- [11] MarineTraffic, “Marine Traffic Live Map”. <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-73.2/centery:-36.7/zoom:11>.
- [12] Instituto Nacional de Estadísticas, “Permisos de Circulación 2020”, 2020. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion> (accedido ene. 20, 2023).

- [13] Ministerio de Agricultura, “Informativo regional Región del Biobío 2021”, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.energia.gob.cl/tu-region/region-del-biobio>.
- [14] Instituto Nacional de Estadísticas, “Cuadros Estadísticos “Existencia de ganado en las explotaciones agropecuarias y forestales por especie por región provincia comuna.”, *Censo Agropecuario*, 2007. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>.
- [15] Coordinador Eléctrico Nacional, “Infotécnica. Instalaciones en Operación.”, 2022. <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/subestaciones> (accedido dic. 15, 2022).
- [16] Instituto Nacional de Estadísticas, “Cuadros Estadísticos ‘Superficie categoría cultivo Región Comuna’”, *Censo Agropecuario*, 2021. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>.
- [17] CONAF, “Fichas Regionales Catastro Vegetacional - Región del Biobío”. Sistema de Información Territorial SIT CONAF, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://sit.conaf.cl/>.
- [18] CONAF, “Listado Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)”, 2020. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1610052227ListadoSNASPEActualizado21122020.pdf.
- [19] CONAF, “Sistema de Información Territorial”, 2015. <https://sit.conaf.cl/>.
- [20] L. Gallardo *et al.*, “Mitigación de carbono negro en la actualización de la contribución nacionalmente determinada de Chile. Resumen para tomadores de decisión”, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.cr2.cl/carbononegro/>.
- [21] Ministerio de Energía, “Estrategia Nacional de Electromovilidad”, 2021, [En línea]. Disponible en: energia.gob.cl/electromovilidad.
- [22] Ministerio del Medio Ambiente, “Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile”, n° April, pp. 5–24, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/estrategia-climatica-de-largo-plazo-2050/>.
- [23] Instituto Nacional de Estadísticas, “Censo Agropecuario”, 2021. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>.
- [24] K. Molina, L. A. Caicedo, y C. Duque, “Tratamiento de las excretas de cerdo mediante un reactor anaeróbico SCFBR a nivel de banco”, *Rev. Colomb. Biotecnol.*, vol. 02, n° 01, pp. 7–15., 1999, [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30037>.
- [25] T. A. S. Biosantec, D. Rutz, R. Janssen, y B. Drosig, “2 - Biomass resources for biogas

- production”, en *The Biogas Handbook*, 2013, pp. 19–51.
- [26] Ministerio de Energía, PNUD, FAO, y GEF, “Manual de biogás”. FAO, 2011, [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.
- [27] Ministerio de Energía Gobierno de Chile, “Informe Balance Nacional de Energía 2019”, 2020.
- [28] Gobierno de Chile, “Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)”, p. 51, 2020, [En línea]. Disponible en: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/ChileFirst/NDC_Chile_2020_español.pdf.
- [29] J. S. S. Miranda Pérez, “Diseño a escala local: Equipo domiciliario para el aprovechamiento de residuos”, Universidad de Chile, 2018.
- [30] Ministerio del Medio Ambiente, “Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990 - 2018”, Santiago, Chile, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://snichile.mma.gob.cl/>.
- [31] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, “Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible (ENMS)”. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Santiago de Chile, p. 67, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://www.subtrans.gob.cl/wp-content/uploads/2022/11/Documento-oficial-ENMS.pdf>.
- [32] Ministerio del Medio Ambiente, “Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos Chile 2040”. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago de Chile, p. 64, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/03/Estrategia-Nacional-de-Residuos-Organicos-Chile-2040.pdf>.
- [33] AMECH, “Motores a combustión vs eléctricos”. Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile, Santiago de Chile, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://portalmovilidad.com/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/>.
- [34] Comisión Nacional de Energía, “Factores de emisión SIC SING, Energía Abierta”, 2022. <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>.
- [35] INE, “Parque de Vehículos”, 2021. <https://regiones.ine.cl/biobio/estadisticas-regionales/economia/transporte-y-comunicaciones/parque-de-vehiculos>.

Anexos

Anexo 1. Gráficos y otros datos del IRGEI

El Balance del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Región del Biobío en la serie temporal 1990-2020 es realizado por el Ministerio del Medio Ambiente. A continuación, se presenta gráficamente el balance a través de los años, dividido por sectores.

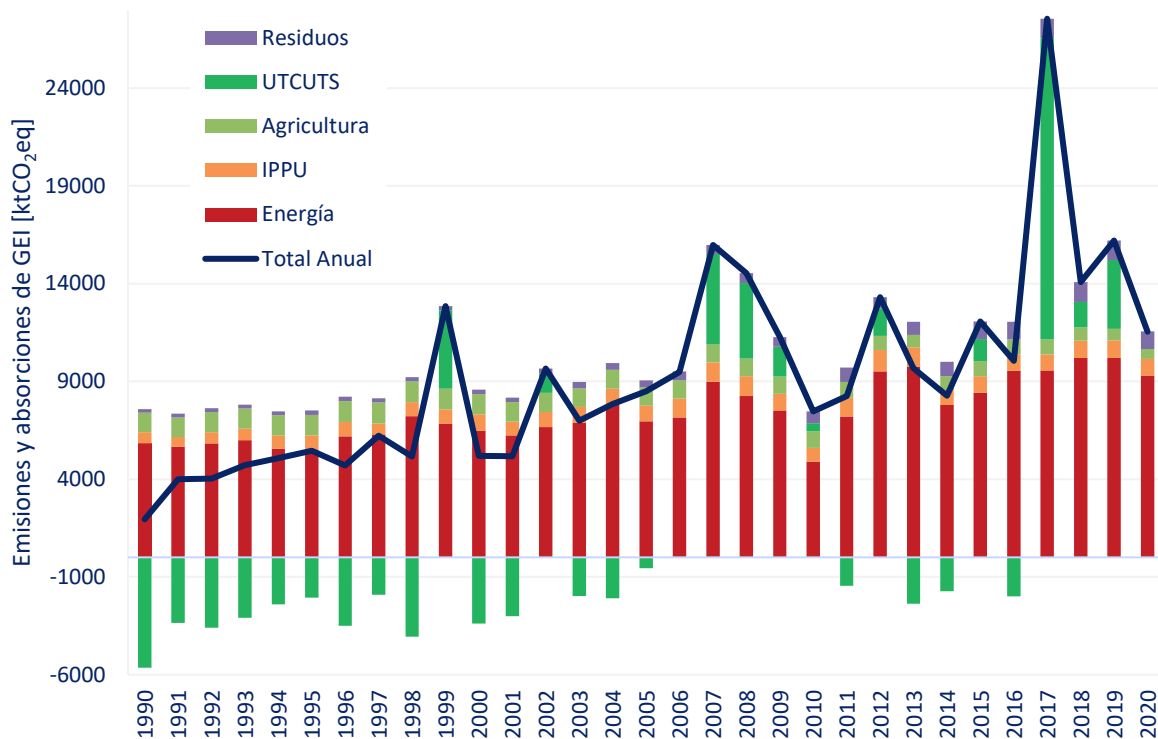


Figura 10: Balance GEI (emisiones y absorciones) de la región del Biobío 1990-2020. Elaboración propia utilizando datos del IRGEI.

Anexo 2. Criterios de asignación comunal del IRGEI

A continuación, se presentan los criterios utilizados para determinar los ponderadores por año, subsector y tipo de gas, que permiten asignar las emisiones y absorciones de GEI de la región del Biobío a cada comuna. Los detalles de cálculo de cada criterio se encuentran en el documento "PONDERADORES_COMUNAL_2022_BIO.xlsx".

1. Energía

1.A.1. Industrias de la energía

1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal

1.A.1.a.i. Generación de electricidad

Para este ítem, el criterio de distribución de los GEI se asocia a las centrales de generación de electricidad que se encuentran en operación hasta el año 2020 en cada comuna. No se consideran las centrales de generación que dejaron de estar en operación. Se toma como supuesto que las centrales entregan la máxima potencia anualmente.

La planta “Laja Biomasa” en 2007 aumentó su potencia en 4 [MW] pasando a una potencia de 12,6 [MW] [9]. Por ende, hubo un aumento de aproximadamente un 35% de la capacidad actual.

A partir de lo anterior, se considera como criterio un aumento del 35% de la capacidad actual para las plantas que tuvieron expansiones como ocurrió con la planta Arauco en 2012 en la comuna de Arauco y la planta Escuadrón en 2009 en Coronel. Ambas utilizan biomasa como combustible. Para el cálculo de las emisiones de CO₂ equivalente, se utilizó como factor de emisión la suma de los factores de emisión de cada GEI ponderados por su índice de potencial de calentamiento global (GWP) a los 100 años.

1.A.1.b. Refinación del petróleo

En esta categoría sólo se encuentra la comuna de Hualpén donde está ENAP refinería Biobío.

1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía

1.A.1.c.i. Manufactura de combustibles sólidos

En esta categoría se considera la manufactura de carbón mineral, tomando en cuenta las concesiones constituidas según Sernageomin.

1.A.1.c.ii. Otras industrias de la energía

Esta categoría se distribuye según la fabricación de carbón vegetal utilizando la superficie de plantaciones forestales por comuna.

1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción

1.A.2.a. Hierro y acero

Se utiliza la información de la sección 2.C. Industria de los metales.

1.A.2.b. Metales no ferrosos

Debido a las bajas emisiones en este subsector, se atribuyen a la comuna con mayor relevancia industrial, y se asume la utilización de metales no ferrosos para todos los años.

1.A.2.c. Sustancias químicas

Se utiliza la información de la sección 2.B. Industria química.

1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta

Se toma como criterio la ubicación de las industrias de pulpa, asignando las emisiones a las comunas correspondientes.

1.A.3. Transporte

1.A.3.a Aviación civil

1.A.3.a.ii. Aviación de cabotaje

Esta categoría se distribuye entre las comunas con aeropuerto.

1.A.3.b. Transporte terrestre

Para todas las categorías de esta sección, se distribuye según el parque vehicular de cada comuna, considerando los datos de permisos de circulación de las bases de datos del INE. Los datos son para el rango de años 2018-2020, por lo que, antes de eso, se considerará la misma cantidad que en 2018.

1.A.3.b.i. Automóviles

1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales

Dentro de estas categorías se encuentran los vehículos tipo 1, 7, 8 y 9 catalíticos y no catalíticos, respectivamente, según la clasificación de los permisos de circulación.

1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales

Dentro de estas categorías se encuentran los vehículos tipo 2, 3, 4, 6 y 10 catalíticos y no catalíticos, respectivamente, según la clasificación de los permisos de circulación.

1.A.3.b.iii. Camiones de servicio pesado y autobuses

Dentro de estas categorías se encuentran los vehículos tipo 11, 12, 13 y 14 catalíticos y no catalíticos, según la clasificación de los permisos de circulación.

1.A.3.b.iv. Motocicletas

Dentro de esta categoría se encuentra el vehículo tipo 5 catalíticos y no catalíticos, según la clasificación de los permisos de circulación.

1.A.3.c. Ferrocarriles

El criterio utilizado considera las comunas que tienen estaciones de los trenes de carga de Ferrocarril del Pacífico S.A. (FEPASA).

1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial

1.A.3.d.ii. Navegación marítima y fluvial nacional

Se considera como criterio las comunas con los principales puertos y como indicador de actividad, se utiliza la cantidad de embarcaciones en puerto.

1.A.3.e. Otro tipo de transporte

1.A.3.e.i. Transporte por gasoductos

Solo se distribuye en Concepción, por Gasoductos del Pacífico.

1.A.3.e.ii. Todo terreno

Se utiliza la misma distribución que la sección 1.A.3.b.i.1 Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales.

1.A.4. Otros sectores

1.A.4.a. Comercial / Institucional

Se distribuye según el criterio de distribución poblacional.

1.A.4.b. Residencial

Se distribuye según el criterio de distribución poblacional.

1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías

1.A.4.c.ii. Vehículo todo terreno y otra maquinaria

Se utiliza la misma distribución que 1.A.3.b.iii. Camiones de servicio pesado y autobuses.

1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)

Se utiliza la misma distribución que 1.A.3.d.ii. Navegación marítima y fluvial nacional.

2. IPPU

2.A. Industria de los minerales

2.A.1. Producción de cemento:

Las emisiones se asocian a la comuna de Talcahuano, donde se encuentra la única empresa en la región con producción de cemento que incluye la producción de clínker, Cementos Bío-Bío.

Las emisiones anuales se asignaron de manera proporcional a la razón entre la producción de cada empresa con respecto a la producción total (producción empresa/ Σ producciones).

2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos

Las emisiones se asocian a la producción de cemento.

2.B. Industria química

2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo

2.B.8.b. Etileno

Las emisiones se asocian solamente a una empresa, Petroquim, ubicada en Hualpén.

2.C. Industria de los metales

2.C.1. Producción de hierro y acero

Las emisiones se asocian a dos empresas CAP acero y Molycop, ambas ubicadas en la comuna de Talcahuano.

2.C.2. Producción de ferroaleaciones

Las emisiones se asocian a dos empresas CAP acero y Molycop, ambas ubicadas en la comuna de Talcahuano.

2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solventes

2.D.1. Uso de lubricantes

Se utiliza información del parque vehicular.

2.D.2. Uso de cera parafina

Se utiliza la misma distribución que 2.D.1. Uso de lubricantes.

2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado

2.F.1.a. Refrigeración comercial

Las emisiones están asociadas a la distribución poblacional de la zona, por lo que, se utiliza un ponderador igual a personas en la comuna/personas en la región.

2.F.1.b. Refrigeración doméstica

Las emisiones se asocian a las viviendas de la zona, por lo que se genera un factor que asocia las viviendas totales en la región por habitante de las comunas (viviendas totales * (personas en la comuna/personas en la región)) y, a su vez, se crea otro (viviendas en la comuna/viviendas totales) que sirve para asignar las emisiones por comuna.

2.F.1.c. Refrigeración industrial

Las emisiones se asocian a la producción agropecuaria de la zona, ya que se toma como supuesto que la refrigeración industrial depende de la relación demanda/oferta de productos que deben ser refrigerados. Se toma como supuesto que los productos que requieren refrigeración son: lácteos, frutas, carnes.

Se estima la producción frutícola (hectáreas frutícolas por comuna por rendimiento de masa) considerando la fruta más producida en la región (en toneladas) y su rendimiento [T/ha]. Se utilizaron los datos del manzano rojo [13].

A partir del censo agropecuario, se obtiene la información ganadera por comuna, determinando la producción (en toneladas) de productos lácteos y cárnicos.

2.F.1.d. Transporte refrigerado

Se utiliza la misma distribución que 2.F.1.c. Refrigeración industrial.

2.F.1.e. Aire acondicionado fijo

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 2.F.1.a. Refrigeración comercial.

2.F.1.d Aire acondicionado móvil

Se utiliza una distribución asociada al parque vehicular, al igual que en 2.D.1. Uso de lubricantes.

2.F.2. Agentes espumantes

Se utiliza la distribución de viviendas al igual que en 2.F.1.b. Refrigeración doméstica.

2.F.3. Protección contra incendios

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 2.F.1.a. Refrigeración comercial.

2.F.4. Aerosoles

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 2.F.1.a. Refrigeración comercial.

2.F.5. Solventes

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 2.F.1.a. Refrigeración comercial.

2.G. Manufactura y utilización de otros productos

2.G.1. Equipos eléctricos

Las emisiones están asociadas a las subestaciones localizadas en la región del Biobío, por ende, el factor será la relación de subestaciones por comuna (subestaciones comuna/subestaciones región).

2.G.3. N₂O de usos de productos

2.G.3.c Otros

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 2.F.1.a. Refrigeración comercial.

3. Agricultura

3.B. Gestión de Estiércol

3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol

Las variables que influyen en la distribución de las emisiones son la cantidad y especie de animales presentes en cada comuna.

La información utilizada proviene de los cuadros estadísticos del Censo Agropecuario disponibles en el INE, sobre la existencia de ganado en las explotaciones agropecuarias y forestales por especie, por región, provincia y comuna. Sin embargo, no existen datos comunales para el año

1997 ni 2021. Esta fuente no reporta información respecto de la comuna de Lota, por lo que se considerará nula. Para determinar la abundancia por comuna se utiliza la información reportada el 2007, asumiendo que la relevancia comunal se ha mantenido en el tiempo (comunidades con fuerte actividad ganadera lo han sido por largo tiempo) [14].

En el caso de ganado vacuno, existen subdivisiones que no son reportadas por los organismos del Estado, por lo que se considera que el ponderador por comuna corresponde al porcentaje de abundancia de ganado vacuno total comunal con respecto al total regional. Análogo para el caso de los porcinos.

En el caso de las secciones de Gestión de Estiércol que consideran la existencia de aves de corral, se consideró una distribución equivalente a la superficie agrícola, ya que no existe información sobre estos animales a nivel comunal.

3.H. Aplicación de urea

Dado que este ítem tiene directa relación con la agricultura, se asigna comunalmente según la superficie de hectáreas de cultivo reportadas. Esta información está disponible para el 2021, pero se considera que la relevancia agrícola de cada comuna se ha mantenido en el tiempo. Sin embargo, en esta base de datos, hay comunas fusionadas; en tal caso, el área de cultivo se dividió proporcional al área de la comuna [16].

3.D. Suelos agrícolas

Esta sección considera tanto agricultura como ganadería. Todo lo que tiene relación con la agricultura (fertilizantes orgánicos e inorgánicos), usa el mismo ponderador descrito para la urea en 3.H. Aplicación de urea.

En el caso de la orina y estiércol depositado por animales de pastoreo, se debe trabajar con ponderadores entre los diferentes tipos de animales de pastoreo censados. Este ponderador será el peso promedio de un animal (ej. caballo, vaca, cabra y oveja), que, al multiplicarlo por las cabezas de animales censadas, permite distribuir las emisiones por comuna.

Respecto de la abundancia comunal de animales, se utiliza el criterio descrito para 3.A Fermentación entérica y 3.B.5. Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión del estiércol.

3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo

Se utilizará el mismo procedimiento descrito para la aplicación de urea, con la salvedad que aquí es necesario hacer la separación comunal entre cereales y otros versus los cultivos frutícolas. Esta información fue reportada desde la misma fuente donde se obtuvo la superficie de cultivo, solo cambia el manejo de los datos.

3.G. Encalado

Si bien este ítem se ve afectado por la actividad forestal y agrícola, se utilizará el supuesto de que se distribuye igual que la actividad agrícola. Además, se debe tener presente que no corresponde

a un ítem de gran relevancia (aproximadamente un 3% de las emisiones de agricultura) para la región, a lo largo del tiempo.

4. UTCUTS

4.A. Tierras forestales

4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales

4.A.1.a. Incremento anual de biomasa

Las hectáreas de bosque nativo y plantaciones forestales por comuna están reportadas para el 2015 en el Sistema de Información Territorial de CONAF[19], por lo que es posible distribuir las absorciones. Se considera que la ponderación comunal se mantiene a lo largo de los años del inventario.

4.A.1.a.i Bosque Nativo

Bosque Nativo presenta tres subdivisiones: 4.A.1.a.i.1. Renovables, 4.A.1.a.i.2. Planes de manejo, 4.A.1.a.i.3. Parques y reservas nacionales. En la región, se declaran tres Parques y Reservas, los que existen en las comunas de Antuco, Concepción-Chiguayante-Hualqui, Quilaco, Lebu y Alto Biobío, cuyas superficies se encuentran disponibles en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE)[18].

Se debe tener en cuenta que lo reportado como Parques y Reservas corresponde a un subconjunto de Bosque Nativo, por lo que se debe descontar. Para el caso del Parque Nonguén, dado que no se encontró información de su porcentaje de uso de cada una de las tres comunas donde se encuentra, se dividió proporcionalmente a la superficie total de la comuna.

Cabe mencionar que, si bien el inventario regional es por especie, se considera una distribución homogénea en cada una de las tierras forestales debido a la falta de información disponible a nivel comunal. Es decir, todas las especies de árboles fueron distribuidas en las comunas de manera proporcional al área de tierra forestal. Además, se considera el mismo factor de repartición para el bosque nativo y planes de manejo.

4.A.1.b. Pérdida anual de biomasa

4.A.1.b.i. Cosecha

Tiene relación con la silvicultura y considerando la escasa información tanto de las empresas de celulosa, como de las forestales, es que se distribuyó comunalmente según el área de plantación forestal.

4.A.1.b.ii. Leña

Puesto que esta tiene relación con la población comunal, considerando a la leña con uso de calefacción, es que se distribuyó según la población.

4.A.1.b.iii. Perturbaciones

4.A.1.b.iii.1. Incendios

Se utilizó el historial anual comunal de los incendios durante el periodo del inventario. Esta información está separada en plantación forestal y vegetación natural, categorías que se utilizaron como sinónimos de Bosque Natural y Plantaciones Forestales para la subclasificación. Considerando que la información se presenta en periodos bianuales, el rango de datos utilizados fueron los correspondientes a los periodos [2019-2020] a [1989-1990]. En este mismo orden, se asoció una corrida de datos a cada año del periodo de inventario partiendo desde el año 2020 hasta al año 1990.

4.A.1.b.iii.2. Otras

Tienen relación con el desbroce y cosecha según las definiciones del IPPC, por lo que se distribuirá por comuna según el área de plantación forestal existente.

4.A.1.b.iv. Quema controlada de residuos forestales

Se distribuirán al igual que las plantaciones forestales.

4.A.1.c. Tierras forestales con cambio de vegetación

Se utilizó el área Reforestada por comuna entre los años 2000-2016. Para los años faltantes, se considera el valor del año más cercano reportado (comportamiento escalón).

4.G. Productos de madera recolectada

Se asume la misma distribución que las plantaciones forestales, por lo que se usará el mismo dato que se usó para el incremento de biomasa en plantaciones forestales (4.A.1.a. Incremento anual de biomasa).

Los ítems **4.A.2.a. Tierra de Cultivos**, **4.A.2.b. Pastizales**, **4.D.Humedales**, **4.A.2.d. Asentamientos** presentan escasa información, por lo que se presenta un plan de acción, para sus respectivas subsecciones “Permanecen como tales” y “Convertidas”:

Plan de acción para ítems de UTCUTS con escasa información

- Según el análisis de los resultados de la categoría UTCUTS, lo más relevante son las tierras forestales. Dentro de esta categoría, la relevancia de la permanencia o conversión tiene alta relación con el año.
- Considerando la escasa información respecto de los usos de tierras, se considera que la tasa de cambio y el uso de tierra que permanece para cada tipo de uso de la tierra es proporcional a la superficie de la comuna.
- Debido a que solo existen datos de las áreas comunales para el 2017, se consideró este valor como constante para los diferentes años evaluados.

5. Residuos

5.A Disposición de residuos sólidos

5.A.1 Relleno

Las emisiones están asociadas a la distribución poblacional de la zona, por lo que, se utiliza la un ponderador igual a personas en la comuna/personas en la región.

5.A.2 Basural

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 5.A.1 Relleno.

5.B Tratamiento biológico de residuos sólidos

Se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 5.A.1 Relleno.

5.C Incineración y quema abierta de residuos

Debido a que la fuente de información de incineración y quema abierta de residuos proviene de centros de salud (hospitales y clínicas) y crematorios [6] se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 5.A.1 Relleno.

5.D Tratamiento y descarga de aguas residuales

5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas

Las emisiones de CH₄ y N₂O están asociadas a la distribución poblacional de la zona, por lo que, se utiliza una distribución poblacional, al igual que en 5.A.1 Relleno.

5.D.2 Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales

Las emisiones se asocian a las empresas productoras de celulosa. Utilizando una razón entre las producciones de las empresas (producción empresa/ Σ producciones), se asocia a las emisiones de ese año, según corresponda.

Como supuesto general, se asume una producción constante de las empresas desde su apertura.

Anexo 3. Medidas de mitigación y su categorización

Tabla 9: Medidas o acciones de mitigación planificadas o propuestas en instrumentos de mitigación de cambio climático y caracterización según alcance (regional o nacional), sector influenciado e identificación de indicadores de cumplimiento cuantitativo con su respectiva justificación.

N°	Medida/acción	Instrumento o documento	Alcance	Sector influenciado					Posee un indicador de cumplimiento cuantitativo	Justificación del indicador
				Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos		
1	A.1.1 Capacitar en el uso de leña seca y crear cooperativas de secado de leña que suministren, sequen y distribuyan leña seca.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
2	A.1.2 Fomentar a través de subsidios el recambio de los calefactores domiciliarios en base a leña por un sistema más limpio y eficiente.	PRAS	Regional	sí	no	no	sí	no	no	
3	A.1.5 Fomentar la implementación de mejores tecnologías disponibles y reconversión de combustible en centrales generadoras de energía, industrias y otros.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
4	A.1.10 Impulsar medidas para controlar el polvo en suspensión en superficies de la comuna sin pavimento.	PRAS	Regional	no	sí	no	no	no	no	
5	A.1.11 Subsidios para el recambio de combustibles más limpio y eficiente de los calefactores domiciliarios para grupos vulnerables.	PRAS	Regional	sí	no	no	sí	no	no	
6	A.2.1 Mejorar la frescura de la materia prima que llega a proceso para el sector plantas procesadoras de productos del mar.	PRAS	Regional	sí	sí	no	no	no	no	
7	B.1.5 Impulsar la implementación de una planta de tratamiento de aguas servidas en la comuna.	PRAS	Regional	no	no	no	no	sí	no	Dado que Residuos no considera plantas de tratamiento.
8	C.1.3 Hacer accesible a la comunidad la información y medidas implementadas por las centrales termoeléctricas asociado a la succión de agua y descarga de residuos líquido.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
9	E.1.1 Implementar un programa de puesta en valor, habilitación y recuperación de los humedales y del sistema hidrológico de Coronel.	PRAS	Regional	no	no	no	sí	no	no	
10	E.2.1 Mantener y aumentar el porcentaje de áreas verdes por habitante.	PRAS	Regional	no	no	no	sí	no	no	No se especifica la cantidad de ha. por habitante.
11	E.2.3 Contar con una red de Parques Urbanos en la comuna.	PRAS	Regional	no	no	no	sí	no	no	No es específico respecto de la cantidad ni el periodo.
12	G.1.2 Contar con un Hospital de alta complejidad acorde a la demanda actual.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
13	G.2.1 Diseñar e implementar un plan integral de manejo y disminución de los residuos en la comuna.	PRAS	Regional	no	no	no	no	sí	no	
14	H.1.1 Instalar oficinas de servicios públicos en la comuna.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
15	H.2.4 Impulsar la implementación de sistemas de Agua Potable Rural (APR) y los sistemas de manejo de aguas servidas en sectores que lo requieran.	PRAS	Regional	no	no	no	no	sí	no	
16	H.3.1 Contar con viviendas sociales de calidad y en cantidad suficiente para las personas que las requieran.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
17	H.4.1 Impulsar la construcción de un terminal de buses interurbanos.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
18	H.4.2 Construir una red de ciclovías de alto estándar en el Coronel urbano.	PRAS	Regional	sí	sí	no	no	no	no	No se indica la configuración ni longitud de ciclovía, tampoco indica el periodo.

Continuación de la tabla anterior

Medida o acción de mitigación planificada o propuesta		Instrumento o documento	Alcance	Sector influenciado					Posee un indicador de cumplimiento cuantitativo	Justificación del indicador
N°	Medida/acción			Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos		
19	I.1.7 Fomentar la implementación de medidas de eficiencia energética y fuentes de energías limpias en espacios públicos y a nivel domiciliario.	PRAS	Regional	sí	no	no	no	no	no	
20	Recuperar calor de gases de combustión generados por equipos de calentamiento de procesos que usan combustibles fósiles mediante instalación de intercambiadores de calor en chimeneas de escape.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	No se especifica respecto de las nuevas eficiencias, calor reducido y el sector industrial.
21	Instalación de sistemas electrónicos de control de ajuste de oxígeno de entrada a las calderas.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	No se especifica cuál será la nueva eficiencia.
22	Implementación, mejora y documentación de programas de mantenimiento regulares.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
23	Reemplazo total o parcial de generadoras que usan combustibles fósiles mediante la instalación de paneles fotovoltaicos u otra fuente de energías renovables.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	No indica el porcentaje de reemplazo, tampoco la temporalidad de la medida, ni el sector.
24	Puesta en marcha de cocinas solares para la preparación de alimentos	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
25	Implementación de Sistemas de Combinación de energías renovables (solar, eólica e hidráulica)	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	No indica el porcentaje de implementación de cada una de ellas.
26	Implementación de eficiencia energética en el sector industrial	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
27	Reemplazo de lámparas de baja eficiencia por lámparas LED en el sector público	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
28	Eficiencia energética en el sector	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
29	Mejorar la eficiencia energética de los equipos asociados a la actividad agropecuaria.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
30	Electrificación de la flota vehicular utilizada dentro de las instalaciones industriales	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
31	Implementación de transporte eléctrico para actividades turísticas en la región	EVCRC	Regional	sí	sí	no	no	no	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
32	Promoción de vehículos eléctricos a nivel comunal	EVCRC	Regional	sí	sí	no	no	no	no	
33	Fomento del uso de combustibles más limpios	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
34	Electrificación de la flota vehicular utilizada en el transporte asociado a la actividad agropecuaria.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	sí	
35	Implementación de rutas más eficientes en los transportes de la maquinaria usada en la actividad agropecuaria.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
36	Electrificación de la flota vehicular utilizada en el transporte asociado a la actividad acuícola.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
37	Mejorar la eficiencia energética de las embarcaciones.	EVCRC	Regional	sí	no	no	no	no	no	
38	40 % de la flota de vehículos particulares eléctricos al 2050. 100 % de transporte público eléctrico al 2040.	ENE	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	

Continuación de la tabla anterior

Medida o acción de mitigación planificada o propuesta		Instrumento o documento	Alcance	Sector influenciado					Posee un indicador de cumplimiento cuantitativo	Justificación del indicador
N°	Medida/acción			Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos		
39	Nuevas normativas de construcción. Se espera que las viviendas nuevas consuman un 35 % menos al 2040 que las viviendas actuales.	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
40	Al 2050, el 39 % de la calefacción es por medio de electricidad.	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
41	Sistemas solares térmicos en industrias y minería.	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
42	Inclusión de hidrógeno en usos motrices industriales y mineros.	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	no	
43	100 % de calefacción distrital al 2050 en las regiones con mayor consumo de leña.	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
44	Normativa maquinaria fuera de ruta	CN-NDC	Nacional	sí	no	no	no	no	no	
45	Meta 2.5: Al 2050, se ha alcanzado una cantidad de 500.000 usuarios/as conectados a redes de energía distrital, contribuyendo a la descontaminación de las ciudades de la zona centro sur del país.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	no	
46	Meta 3.1: Meta 3.1: Al 2035, 100% de las ventas de vehículos nuevos terrestres, de categoría livianos y medianos, son cero emisiones; y el 100% de las nuevas incorporaciones en el transporte público urbano (buses, taxis y colectivos) son cero emisiones.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
47	Meta 3.2: Al 2030, se alcanza un 15% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
48	Meta 3.3: Al 2040, el 100% del parque de buses de transporte urbano público y privado, taxis, y logística urbana son vehículos cero emisión, asegurando contar con la infraestructura necesaria	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
49	Meta 3.4: Al 2045, el 100% de las ventas de transporte de carga y buses interurbanos serán cero emisiones.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
50	Meta 3.5: Al 2050, alcanzar al menos 60% de participación de vehículos cero emisiones en el parque de uso particular y comercial, asegurando contar con la infraestructura necesaria.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
51	Meta 3.6: Al 2050, se alcanza un al menos un 70% de combustibles cero emisiones (tales como hidrógeno verde y sus derivados, y combustibles sintéticos) en los usos energéticos finales no eléctricos.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
52	Meta 4.1: Al 2030, 100% de los hogares con acceso a electricidad de forma permanente respecto al total de hogares existentes.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	no	
53	Meta 4.2: Al 2050, 100% de hogares acceden a energía para satisfacer necesidades de calefacción, agua caliente sanitaria y cocción de alimentos a partir de fuentes de energía limpia de bajas emisiones*.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	no	
54	Meta 5.1: Al 2025, se habrá retirado y/o reconvertido el 65% de las unidades generadoras termoeléctricas a carbón del sistema eléctrico nacional.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	

Continuación de la tabla anterior

Medida o acción de mitigación planificada o propuesta		Instrumento o documento	Alcance	Sector influenciado					Posee un indicador de cumplimiento cuantitativo	Justificación del indicador
N°	Medida/acción			Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos		
55	Meta 5.2: Al 2030, el 80% de la energía producida para la generación eléctrica del país proviene de generación de energías renovables, enfatizando que los sistemas eléctricos deberán estar preparados para lograrlo.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
56	Meta 5.4: Al 2050, el 100% de la energía producida para la generación eléctrica del país proviene de fuentes de energía cero emisiones.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	sí	
57	- 4.1.1: Al 2025, todas las operaciones de la gran minería cuentan con planes de flotas cero emisión tanto para vehículos livianos como de carga. - 4.4.2: Al 2030, el 100% de la gran minería inició implementación flota cero emisión.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
58	Meta 4.3: Al 2030, el 90% de los contratos de energía eléctrica del sector minero proviene de fuentes renovables, alcanzando el 100% al 2050.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
59	Meta 3.3: Al 2025, contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros).	ECLP	Nacional	sí	no	sí	no	no	sí	
60	Meta 3.11: Al 2030, aumentar en al menos un 30% la cantidad de biodigestores instalados en el sector porcino respecto del 2021. *	ECLP	Nacional	sí	no	sí	no	no	sí	
61	Meta 6.1: Al 2030, reducir las emisiones del sector forestal por degradación y deforestación del bosque nativo en un 25%, considerando las emisiones promedio entre el periodo 2001- 2013.	ECLP	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	
62	Meta 8.2: Al 2030, forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, y en general, observando los criterios establecidos en la NDC de Chile actualizada al 2020.	ECLP	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	
63	Meta 1.2: Al 2030, la generación de residuos sólidos municipales per cápita se ha reducido en un 10% con respecto al 2020.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	no	El IRGEI no es suficientemente detallado para aplicar esta medida.
64	Meta 1.3: Al 2030, la generación de residuos por unidad de producto interno bruto se ha reducido en un 15% con respecto al 2020.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	sí	
65	Meta 2.3: Al 2030, la tasa general de reciclaje ha alcanzado el 40%.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	no	
66	Meta 3.1: Al 2025, contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	sí	
67	Meta 5.11: Al 2030, al menos el 50% del volumen de los RCD se valoriza: reutilización y reciclaje para la fabricación de nuevos productos.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	no	
68	Meta 5.16: Al 2050, las construcciones nuevas certifican cero residuo en sus procesos.	ECLP	Nacional	no	no	no	no	sí	no	

Continuación de la tabla anterior

Medida o acción de mitigación planificada o propuesta		Instrumento o documento	Alcance	Sector influenciado					Posee un indicador de cumplimiento cuantitativo	Justificación del indicador
N°	Medida/acción			Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos		
69	Meta 1.6: Al 2030, reducir las tasas de emisiones en Transporte marítimo de manera progresiva, partiendo de un 5% el año 2023 hasta un 11% al año 2026, reducciones estimadas sobre línea base año 2008.	ECLP	Nacional	sí	no	no	no	no	no	
70	Meta 6.4: Al 2040, contar con sistemas de transporte público urbano basados 100% en tecnologías cero emisión, en todas las regiones del país.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
71	Meta 6.5: Al 2040, alcanzar la reconversión del 100% de los taxis básicos y taxis colectivos a un modelo de cero emisiones.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
72	Meta 6.6: Al 2050, alcanzar un avance de la electromovilidad equivalente a un 58% del parque vehicular, tanto de vehículos particulares como comerciales.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
73	Meta 6.7: Al 2050, alcanzar un porcentaje de reconversión de un 71% de los vehículos de carga en base a vehículos cero emisión.	ECLP	Nacional	sí	sí	no	no	no	sí	
74	Meta 2.3: Al año 2030, se habrá ampliado en al menos 1.000.000 há, la actual superficie de protección oficial de ecosistemas terrestres y acuático continentales, en ecoregiones subrepresentadas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado, considerando asimismo en zonas identificadas como refugios climáticos para la biodiversidad; a través de áreas protegidas (AP) y de otras medidas eficaces de conservación (OMEC) basadas en áreas, para así contribuir a la meta global de protección de al menos el 30% de la tierra y océanos del planeta para 2030.	ECLP	Nacional	no	no	no	sí	no	no	
75	Meta 3.1: Al 2030, se incorporan 1 millón de hectáreas al proceso de restauración, de acuerdo con el Plan Nacional de Restauración a Escala de Paisaje.	ECLP	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	
76	Meta 5.4: Al 2025, se habrán reconocido como humedales urbanos protegidos entre 10.000 y 15.000 hectáreas de humedales a lo largo del territorio nacional, para su incorporación como infraestructura ecológica en los instrumentos de planificación territorial.	ECLP	Nacional	no	no	no	sí	no	no	
77	14) Chile se compromete al manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosques nativos, representando capturas de GEI en alrededor de 0,9 a 1,2 MtCO ₂ eq anuales, al año 2030.	NDC	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	
78	15) Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, que representarán capturas de entre 3,0 a 3,4 MtCO ₂ eq anuales al 2030.	NDC	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	
79	16) Reducir las emisiones del sector forestal por degradación y deforestación del bosque nativo en un 25% al 2030, considerando las emisiones promedio entre el periodo 2001-2013.	NDC	Nacional	no	no	no	sí	no	sí	

Anexo 4. Estimación de medidas de mitigación.

A continuación, se exhibe una descripción de la metodología de cálculo de reducción de emisiones para cada medida evaluada.

Medida Electromovilidad

“40% de la flota de vehículos particulares eléctricos al 2050. 100% de transporte público eléctrico al 2040”.

Documento donde se propuso	Estrategia Nacional de Electromovilidad [21]	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Energía	- Transporte terrestre - Generación de electricidad
	IPPU	- Uso de lubricantes
Emisiones regionales al 2020 [ktCO ₂ eq]	11.535,7	Emisiones por Energía: 9.294,9 Emisiones por IPPU: 858,2
Emisiones regionales al 2050 (i) [ktCO ₂ eq]	18.742,7	Aumento por Energía: 7.207 (77,53%) Reducción por IPPU: 2,2 (0,25%)
Emisiones regionales al 2050 (ii) [ktCO ₂ eq]	10.106,4	Reducción por Energía: 1.427,1 (15,35%) Reducción por IPPU: 2,2 (0,25%)

(i): Emisiones con factor de emisión de SEN (Sistema Eléctrico Nacional) año 2020.

(ii): Emisiones con factor de emisión de SEN (Sistema Eléctrico Nacional) proyectado al 2040.

Esta medida afecta a los sectores de Energía e IPPU. Las estimaciones de la disminución de emisiones para cada sector se realizaron bajo sus respectivas metodologías, explicadas a continuación.

Metodología Energía:

En esta medida se consideran dos escenarios en el año 2050 debido a los cambios en la matriz energética y su respectivo factor de emisión proyectado.

Para aplicar la medida en la categoría de Energía, primero se definió cuáles de los tipos de vehículos según la clasificación de los permisos de circulación del INE, que corresponden a vehículos particulares y a transporte público [12]. En vehículos particulares se consideraron los tipos 1,2,3,4,5,6,7,8 y 9 y en transporte público los tipos 10 y 11.

Luego, a partir de la cantidad de vehículos de cada subcategoría de la categoría 1.A.3.b Transporte terrestre, y de la cantidad de emisiones, se calculó el respectivo factor de emisión. Posteriormente, se calculó la cantidad de vehículos que pasarían a ser eléctricos, aplicando el 40% o 100% según correspondiera. Finalmente, se calcularon las nuevas emisiones con la cantidad de vehículos a combustible fósil, utilizando el factor de emisión antes calculado, 2024 y 2050 por igual.

Para calcular las emisiones por generación de electricidad asociadas al consumo de electricidad de los vehículos eléctricos, se siguió el siguiente procedimiento: en primer lugar, se calculó la energía requerida por los vehículos con motor de combustión, tomando en cuenta la cantidad de combustible consumido considerando los kilómetros recorridos en promedio por año y el rendimiento promedio del automóvil. Luego, se ponderó por la eficiencia del motor para calcular la energía utilizada por el vehículo para desplazarse.

En segundo lugar, una vez calculada la energía que requieren los vehículos, se transformó en energía eléctrica y se ponderó por la eficiencia del motor eléctrico para calcular la energía que realmente se debe suministrar [33]. Finalmente, para calcular las emisiones, se consideraron los factores de emisión del SEN (Sistema Eléctrico Nacional) en 2024 considerando el mismo que el del 2022 y para el escenario 2050 el proyectado para el 2040 [34].

El supuesto más importante utilizado en esta sección es que se mantuvo la flota de vehículos constante desde 2020.

Metodología IPPU:

Los vehículos eléctricos no utilizan lubricantes, por lo tanto, esta medida disminuirá las emisiones proporcionalmente al número de vehículos. Para aplicar la medida, se utilizó la información del parque vehicular, que fue dividido en autos particulares y públicos [35]. Posteriormente, se obtuvo la cantidad de vehículos que pasaría a ser eléctrico en cada categoría (el 40% privado y el 100% público) y cuántos quedarían como no eléctricos (a combustible fósil). Usando el supuesto de que todos los autos tienen el mismo factor de emisión de uso de lubricantes, se procedió a obtener la fracción de vehículos eléctricos. Finalmente, las emisiones del 2050 se calcularon como: $\text{emisión}_{2020} - (\text{emisión}_{2020} * \text{fracción de vehículos eléctricos})$.

Medida Tratamiento de Purines

“Al 2025, contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros).”

Documento donde se propuso	Estrategia Climática de Largo Plazo	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	Energía	- Residencial
	Agricultura	- Porcinos - Marranas - Verracos - Juveniles
Emisiones regionales al 2020 [ktCO ₂ eq]	11.535,7	Emisiones por Energía: 9.294,9 Emisiones por Agricultura: 502,2
Emisiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq]	11.516,0	Reducción por Energía: 7,8 (0,084%) Reducción por Agricultura: 13,3 (2,65%)

Esta medida afecta a los sectores de Energía y Agricultura. Las estimaciones de la disminución de emisiones para cada sector se realizaron bajo sus respectivas metodologías, explicadas a continuación.

Metodología Energía:

La puesta en marcha de biodigestores permite la producción de biogás, el cual puede ser quemado para la generación de calor. Considerando esto y los sectores que presenta el IRGEI para energía, es que se modifica la categoría Residencial.

Para calcular las nuevas emisiones fue necesario aplicar supuestos como que el único combustible considerado en esta categoría es la leña.

Se comenzó calculando el calor generado en este sector, dado a que se conocen las emisiones y es posible obtener el factor de emisión en los documentos del IPCC.

Para la generación de biogás, se utilizó la misma distribución que para los porcinos, reportada por el censo del INE. A partir de esto, y los rendimientos encontrados por bibliografía, fue posible estimar la cantidad de biogás generada y, por ende, el calor asociado.

Considerando que la actividad de las comunas al 2050 será igual que la del 2020, es que se tiene que el calor generado por biogás llegará a reemplazar una parte del calor asociado a la quema de

leña. Entonces, teniendo en cuenta las respectivas distribuciones para el calor de leña y biogás, se procedió a realizar la resta, dado como resultado que el biogás no es capaz de reemplazar totalmente a la leña, pero sí una fracción (la incidencia depende de la comuna).

Posteriormente, dado que se tiene el calor generado por biogás y el calor de leña que se necesitará el 2050, es que se pueden estimar las emisiones al multiplicar cada uno de los calores por su respectivo factor de emisión y luego sumarlos.

Metodología Agricultura:

Considerando que los purines de cerdo afectan en la categoría de Gestión de Estiércol del IRGEI, es que en todas las filas de esta sección, en donde se hace mención a porcinos, marranas, verracos y juveniles, se descontó el 75% de las emisiones, dado que, ahora no emitirán por este concepto, sino que por combustión de biogás en el apartado de energía [23]–[27].

Medida Forestación

“ Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, que representarán capturas de entre 3,0 a 3,4 MtCO₂eq anuales al 2030.”

Documento donde se propuso	NDC	
Área(s) a la(s) que afecta(n)	UTCUTS	(Planes de Manejo) - Alerce - Ciprés Guaitecas - Araucaria - Ciprés Cordillera - Palma Chilena - Lenga - Coihue Magallanes - Ro-Hualo - RoRaCo - CoRaTe - Esclerófilo - Siempreverde
Emissiones regionales al 2020 [ktCO ₂ eq]	11.535,7	Emissiones por UTCUTS: - 21,72
Emissiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq]	11.265,2	Reducción por UTCUTS: 270,54 (1.245,7%)

Esta medida afecta al sector de UTCUTS. Las estimaciones de la disminución de emisiones bajo la siguiente metodología.

Metodología UTCUTS:

En primer lugar, considerando que la medida es a nivel nacional, se tuvo que aplicar un criterio para distribuir a nivel regional. Este consistió en asumir que la medida se aplicaría según superficie para todas las regiones del país. Así, se identificó la superficie de bosque presente en cada región, en donde se incluye el bosque nativo, mixto y plantaciones forestales. Luego, sumando las superficies regionales para obtener el dato nacional, se procedió a hacer el cociente entre el valor regional versus el nacional, obteniendo así un ponderador.

Recuperando el valor del ponderador para la región del Biobío, es posible estimar la cantidad de hectáreas a plantar, al igual que el valor estimado de captura de CO₂eq, asumiendo que todos los

árboles que serán incorporados presentan una capacidad similar de metabolización, además de que en su conjunto serán capaces de absorber la meta promedio de 3.200 [ktCO₂eq] [28].

Posteriormente, para definir los valores de captura a nivel comunal, se tuvo en cuenta las superficies no gestionadas. Para esto, se restó de la superficie comunal total las superficies utilizadas en bosque, plantaciones forestales [17] y agricultura [23], dado que son los principales usos de tierra. Entonces, el resultado se consideró como superficie libre que puede ser plantada.

Para definir la distribución comunal de las plantaciones propuestas en la medida, se creó un ponderador que expresara las superficies no gestionadas, de modo que la estrategia planteada no involucre el cambio de uso de suelo en otros sectores. Con este ponderador, es posible repartir tanto las hectáreas, como la capacidad de absorción de CO₂eq. Las filas a las que afecta son las de Planes de Manejo, que por simplicidad, se asumió que mantendrán la composición por especie.

Medida Generación de residuos

“Al 2030, la generación de residuos por unidad de producto interno bruto se ha reducido en un 15% con respecto al 2020.”

Emisiones regionales al 2020 [kt CO ₂ eq]	11.535,7	Emisiones por residuos: 902,1
Emisiones regionales al 2050 [kt CO ₂ eq]	11.429,2	Reducción por residuos: 106,5 (11,81%)

Esta medida afecta al sector de Residuos. Las estimaciones de la disminución de emisiones bajo la siguiente metodología.

Metodología Residuos:

La medida involucra al subsector 5.A. Disposición de residuos sólidos . Para su aplicación, se tomó como supuesto que el PIB del año 2050, es igual al del 2020. Además, se consideró que el factor de emisión de residuos sólidos es el mismo para todos los posibles tipos de residuos que pueden ser clasificados como sólidos. Para la obtención de las emisiones del año 2050, se asumió una reducción del valor en un 15% con respecto al del 2020.

Medida Disposición de Residuos

“Al 2025, contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas.”

Emisiones regionales al 2020 [ktCO ₂ eq]	11.535,7	Emisiones por residuos: 902,1
Emisiones regionales al 2050 [ktCO ₂ eq]	11.532,1	Reducción por residuos: 3,6 (3,9%)

Metodología Residuos:

Se tomó como supuesto que la distribución de las composteras o vermicomposteras es 1 por familia, por ende, para poder distribuir las 200.000 composteras por región, se utilizó un ponderador construido en base a la población de la región dividido en la población total del país. Con ello, se obtuvo que para la región del Biobío habrá 17.657 composteras disponibles. Luego, usando el ponderador de distribución poblacional, se asignaron las 17.657 composteras por comuna.

Usando el supuesto de que el IRGEI solo tomo en cuenta la emisión de los residuos orgánicos (específicamente los residuos de alimentos) con un factor de emisión de 0,31242 kg CO₂eq por kg de sólido orgánico (obtenido al suponer que el 40% del FE de kg CO₂eq corresponde a los sólidos orgánicos, por lo que, se utiliza como FE un 0,4 del FE original), se obtuvo la cantidad de residuos producidos en cada una de las comunas de la región.

Para obtener la cantidad de residuos que serían tratados en las composteras de forma anual, se utilizaron los siguientes supuestos: el volumen de una compostera promedio es 0,3 m³, la densidad de los sólidos orgánicos corresponde a un 590 kg/m³, en un año se realizan aproximadamente 26 ciclos de compostaje, llevando que en un año el compostaje tratado fuera de 4.614,64 kg/año. Con esta información, se obtiene la cantidad de residuos compostados y no compostados al año para cada comuna.

Posteriormente, se obtuvo las emisiones por compostaje y no compostaje utilizando los factores de emisión de 0,31242 kg CO₂eq por kg de sólido orgánico (para los residuos no compostados) y de 0,004 kg CO₂eq por kg residuo orgánico tratado (para residuos compostados), utilizando como supuesto que la emisión de CO₂eq de las composteras es equivalente a la del metano. Finalmente se suman ambas emisiones por comuna para obtener las emisiones del año 2050 [29], [30].

Anexo 4. Fichas de medidas de mitigación

Ficha de medida n°1

Nombre medida	Estrategia de electromovilidad					
Objetivo específico a que obedece	Reducir las emisiones GEI del sector transporte					
Categoría de la medida	Sector Transporte					
Descripción de la medida	40 % de la flota de vehículos particulares eléctricos al 2050. 100 % de transporte público eléctrico al 2040.					
Metas o resultados esperados Metas, resultado esperado de la medida, que debe ser cuantificable y comparable con una línea base de la misma	Indicador de la meta de la medida					
Actividades						
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Indicador de progreso de la actividad. Indicadores que permitan medir el progreso de la medida con relación a la meta propuesta. Forma de cálculo y plazo.
Actividad 1	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad 2	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad N	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Institución responsable	Ministerio de Energía y Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones					
Instituciones colaboradoras	<i>No establecido</i>					
Estimación del costo de la medida	<i>No establecido</i>					
Sinergias o co-beneficios de la medida	<i>Beneficios esperados adicionales en otros ámbitos debido a la implementación de la medida. Por ejemplo, en mitigación, beneficios sociales, culturales, ambientales y económicos.</i>					

Ficha de medida n°2

Nombre medida	Tratamientos de abatimiento para los purines de cerdo					
Objetivo específico a que obedece	Fomentar sistemas agroalimentarios bajos en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que a través del uso eficiente y sustentable de los recursos naturales asegure la producción de alimentos de origen agropecuario.					
Categoría de la medida	Sector Silvoagropecuario					
Descripción de la medida	Al 2025, contar con un 75% de los purines de cerdos con tratamientos de abatimiento para emisiones de GEI (Planta de lodos activados, biodigestores y/o biofiltros).					
Metas o resultados esperados Metas, resultado esperado de la medida, que debe ser cuantificable y comparable con una línea base de la misma	Indicador de la meta de la medida					
Actividades						
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Indicador de progreso de la actividad Indicadores que permitan medir el progreso de la medida en relación a la meta propuesta. Forma de cálculo y plazo
Actividad 1	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	
Actividad 2	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	
Actividad N	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	
Institución responsable	MINAGRI					
Instituciones colaboradoras	Ministerio de Energía MISAL MOP					
Estimación del costo de la medida	No establecido					
Sinergias o co-beneficios de la medida	<i>Beneficios esperados adicionales en otros ámbitos debido a la implementación de la medida. Por ejemplo, en mitigación, beneficios sociales, culturales, ambientales y económicos.</i>					

Ficha de medida n°3

Nombre medida	Forestación para metas de captura de CO2eq					
Objetivo específico a que obedece	Aumentar la capacidad de captura de CO2					
Categoría de la medida	Contribución en Integración – UTCUTS - Bosques					
Descripción de la medida	Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas.La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, que representarán capturas de entre 3,0 a 3,4 MtCO2eq anuales al 2030.					
Metas o resultados esperados Metas, resultado esperado de la medida, que debe ser cuantificable y comparable con una línea base de la misma	Indicador de la meta de la medida					
Actividades						
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Indicador de progreso de la actividad Indicadores que permitan medir el progreso de la medida en relación a la meta propuesta. Forma de cálculo y plazo
Actividad 1	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad 2	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad N	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Institución responsable	<i>No establecido</i>					
Instituciones colaboradoras	<i>No establecido</i>					
Estimación del costo de la medida	<i>No establecido</i>					
Sinergias o co-beneficios de la medida	<i>Beneficios esperados adicionales en otros ámbitos debido a la implementación de la medida. Por ejemplo, en mitigación, beneficios sociales, culturales, ambientales y económicos.</i>					

Ficha de medida n°4

Nombre medida	Reducción de Residuos					
Objetivo específico a que obedece	Eliminar la basura y la contaminación desde el diseño					
Categoría de la medida	Residuos y economía circular					
Descripción de la medida	Al 2030, la generación de residuos por unidad de producto interno bruto se ha reducido en un 15% con respecto al 2020.					
Metas o resultados esperados Metas, resultado esperado de la medida, que debe ser cuantificable y comparable con una línea base de la misma	Indicador de la meta de la medida					
Actividades						
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Indicador de progreso de la actividad Indicadores que permitan medir el progreso de la medida en relación a la meta propuesta. Forma de cálculo y plazo
Actividad 1	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	
Actividad 2	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	No establecido	
Actividad N	No establecido	No establecido	No establecido	Resultado esperado	No establecido	
Institución responsable	No establecido					
Instituciones colaboradoras	No establecido					
Estimación del costo de la medida	No establecido					
Sinergias o co-beneficios de la medida	No establecido					

Ficha de medida n°5

Nombre medida	Tratamiento de residuos vía composteras y/o vermicomposteras					
Objetivo específico a que obedece	Aumentar significativamente la tasa de valorización de los residuos orgánicos gestionados a nivel municipal (domicilios, ferias libres y parques y jardines), regenerando los sistemas naturales.					
Categoría de la medida	Residuos y economía circular					
Descripción de la medida	Al 2025, contar con 200.000 familias que utilicen composteras y/o vermicomposteras en sus viviendas.					
Metas o resultados esperados Metas, resultado esperado de la medida, que debe ser cuantificable y comparable con una línea base de la misma	Indicador de la meta de la medida					
Actividades						
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Indicador de progreso de la actividad Indicadores que permitan medir el progreso de la medida en relación con la meta propuesta. Forma de cálculo y plazo
Actividad 1	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad 2	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Actividad N	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	<i>No establecido</i>	
Institución responsable	<i>No establecido</i>					
Instituciones colaboradoras	<i>No establecido</i>					
Estimación del costo de la medida	<i>No establecido</i>					
Sinergias o co-beneficios de la medida	<i>No establecido</i>					