

INVENTARIO NACIONAL DE CARBONO NEGRO,
SERIE 1990-2018

Oficina de Cambio Climático
Ministerio del Medio Ambiente

Diciembre de 2020

Presentación

En el marco de la actualización sobre cambio climático de Chile, la Coalición por el Clima y al Aire Limpio (CCAC, por su sigla en inglés) se encuentra apoyando al Ministerio del Medio Ambiente en la inclusión de carbono negro en el diseño de la visión de largo plazo de Chile, para cumplir con el desafío de 1,5 °C. El apoyo consiste en la contratación de un consultor para la actualización del inventario de carbono negro presentado en 2018 en el tercer Informe Bienal de Actualización sobre cambio climático y la inclusión del carbono negro en la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile.

El siguiente documento presenta los resultados obtenidos en relación al inventario nacional de carbono negro.



**CLIMATE &
CLEAN AIR
COALITION**
TO REDUCE SHORT-LIVED
CLIMATE POLLUTANTS

1. INTRODUCCIÓN

En 2015 Chile toma parte del acuerdo de París, aceptando el desafío de mantener el aumento de temperatura del planeta por debajo de los 1,5 °C. Para cumplir con este desafío es necesario reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC). Por su parte Chile, en 2015, reconoce en su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) la importancia de los CCVC, en particular la importancia que tiene el carbono negro (CN) en el calentamiento del planeta. Luego en 2020, Chile presenta la actualización de su NDC, en la que se incluye una meta de reducción de las emisiones de CN de al menos un 25% al 2030, con respecto a los niveles del 2016.

Para cumplir con los compromisos de reducción de CN es necesario tener una contabilidad de las emisiones de CN, a través de inventarios nacionales robustos y consistentes con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), de tal forma de consolidar y alinear las medidas de mitigación de GEI y de CN.

Aquí se presentan el segundo inventario nacional de CN desarrollado en línea con el INGEI. El primer inventario nacional de CN corresponde a la serie 1990-2016 y fue publicado en el 3IBA¹ de Chile. Esta actualización incluye la serie 1990-2018 y considera mejoras metodológicas, aplicadas a toda la serie, principalmente usando factores de emisión más representativos de la realidad nacional.

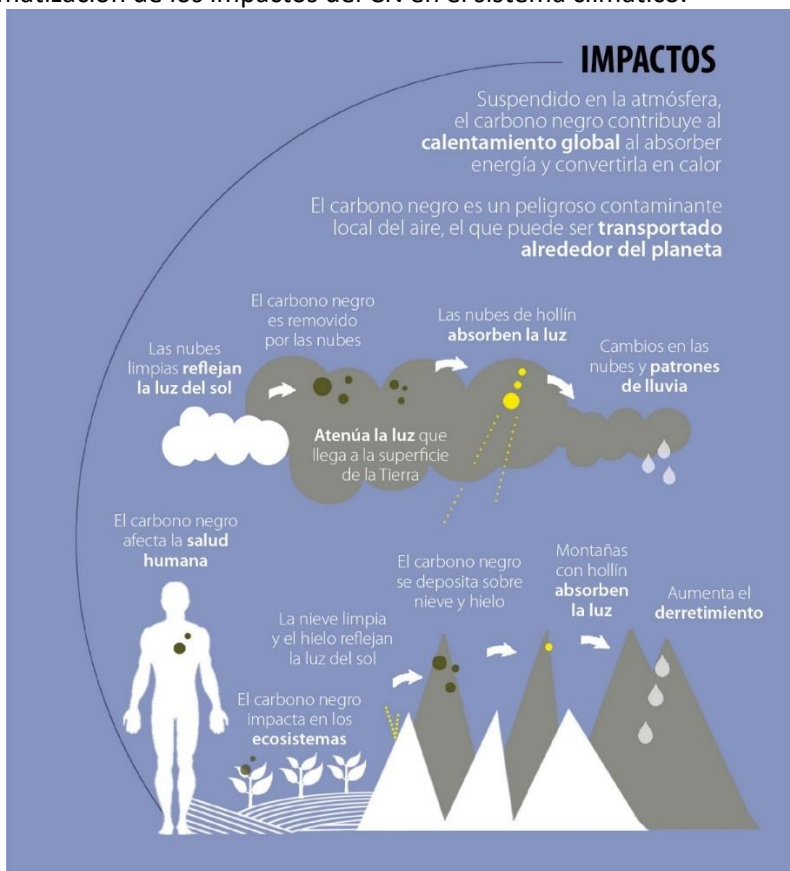
1.1. Carbono negro

El carbono negro, hollín o carbono elemental (CN) es un aerosol primario, es decir, emitido directamente por una fuente, que es producido por la quema incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa (IPCC, 2018). La permanencia en la atmósfera de este contaminante va desde días a semanas, por lo que es considerado un contaminante climático de vida corta (CCVC).

El CN tiene un gran potencial para absorber luz, la que luego emite en forma de calor, además, a diferencia de otros aerosoles, este solo produce un forzamiento radiativo positivo en la atmósfera, lo que se traduce en un calentamiento del planeta (Boucher et al., 2013). El CN también tiene efectos sobre las superficies en las que se deposita, por un lado, el CN puede cambiar el albedo de las superficies de hielo o nieve (Rowe et al., 2019), por otro lado, también altera la formación de las nubes al depositarse sobre ellas (Bond et al., 2013), además, el CN es parte del material particulado completamente respirable (MP_{2,5}), por lo que la exposición a este contaminante trae problemas a la salud (WHO, 2018; Kirrane et al., 2019; Huneus et al., 2020). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire provoca aproximadamente 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo.

¹ <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>

Figura 1. Esquematación de los impactos del CN en el sistema climático.

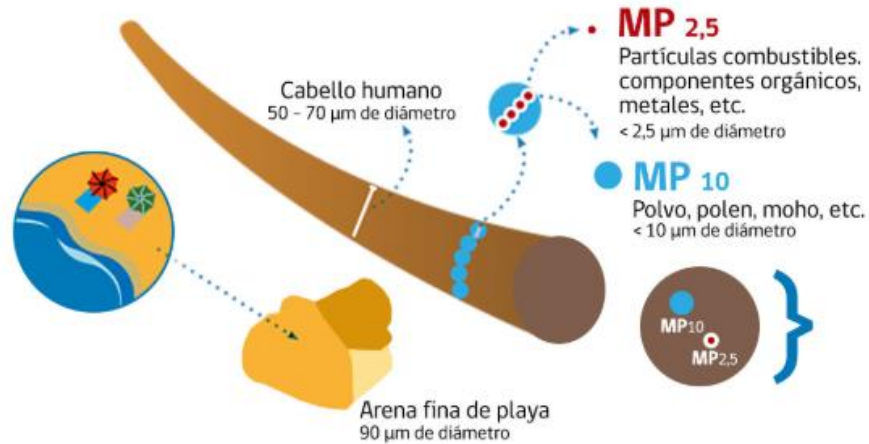


Fuente: Adaptado de <https://ccacoalition.org/en/slcp/black-carbon>.

Como se menciona anteriormente, el CN pertenece al $MP_{2,5}$ y forma solo una parte de este, la composición del MP varía según el lugar en donde se mide. Esto último guarda estrecha relación con las fuentes de emisión, tanto naturales como antrópicas, que se encuentre en el lugar en donde se realiza la caracterización del MP. Por ejemplo, en un lugar lejano del océano y donde predomina el uso de leña la composición del MP estará dominada por partículas orgánicas y presentará una muy baja o nula participación de sal marina. En Chile se han monitoreado los niveles o concentraciones de MP (entre otros contaminantes) en diferentes ciudades o puntos estratégicos (e.g. cerca de centrales de generación), los que son registrados y publicados en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Debido a los altos índices de MP y otros contaminantes, Chile, ha implementado la Estrategia de Planes de Descontaminación Atmosférica, esta estrategia cuenta con una serie de medidas que buscan mejorar la calidad del aire en las ciudades más contaminadas del país, con un foco en la reducción de $MP_{2,5}$. Las medidas actualmente en implementación podrían traer reducciones significativas en las emisiones de MP y a su vez, como un cobeneficio, de CN.

Por lo tanto, la mitigación de MP, a través del CN, presenta una oportunidad para mejorar la calidad del aire en las ciudades, desmullendo índices de morbilidad y mortalidad, además, como cobeneficio la reducción de CN ayudaría a lograr la meta del 1,5 °C comprometida en el acuerdo de París.

Figura 2. Esquematación del tamaño del MP_{2,5}.



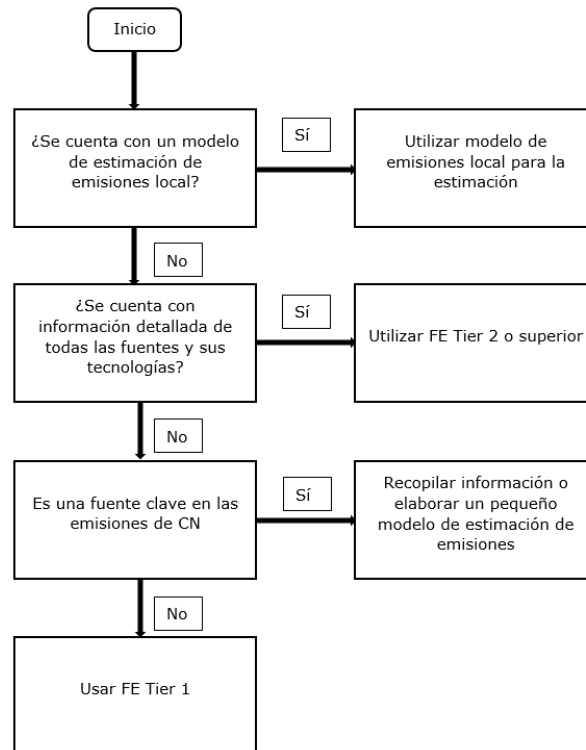
Fuente: <http://airechile.mma.gob.cl/faq>

1.2. Metodología general

La metodología utilizada en la elaboración del inventario consiste en traducir los consumos o actividades utilizadas en el INGEI en emisiones de CN. La estimación realizada en este inventario considera las emisiones provenientes de diferentes fuentes, procesos y tecnologías. Este último varía al momento de entrar una nueva regulación o normativa.

El siguiente esquema resume la metodología de estimación según los diferentes sectores.

Figura 3. Árbol de ideas utilizado para la estimación de emisiones de CN.



Fuente: Elaborado en base a las guías de EMEP-EEA.

2. TENDENCIA NACIONAL DE CARBONO NEGRO

EL inventario nacional de CN (INCN) da evidencia de las principales fuentes de este contaminante a lo largo de Chile, a través de una metodología capaz de evidenciar avances en materia de mitigación de emisiones que, a su vez, está en línea con las emisiones del INGEI. Las emisiones del INCN se presentan de acuerdo con las categorías definidas en el INGEI de Chile (<http://snichile.mma.gob.cl/>). En 2018 las emisiones de CN alcanzaron las 15,3 kt, lo que representó un aumento del 38% respecto de 1990 y una disminución del 2% respecto del 2016. La tendencia de las emisiones de CN está fuertemente dominada por el sector Energía, vale decir, por las emisiones producidas por el consumo de combustible, sin embargo, en algunos años (1998, 1999, 2002, 2014, 2015 y 2017) las emisiones producto de incendios forestales, emisiones contabilizadas en el sector UTCUTS, cambian la tendencia de la serie pasando a ser parte importante de las emisiones de CN a nivel nacional. Esto último queda claramente reflejado en el año 2017, en donde las emisiones totales del país llegaron a los 27,83 kt de CN y las emisiones producto de incendio forestales alcanzan un nivel similar a las emisiones del sector Energía.

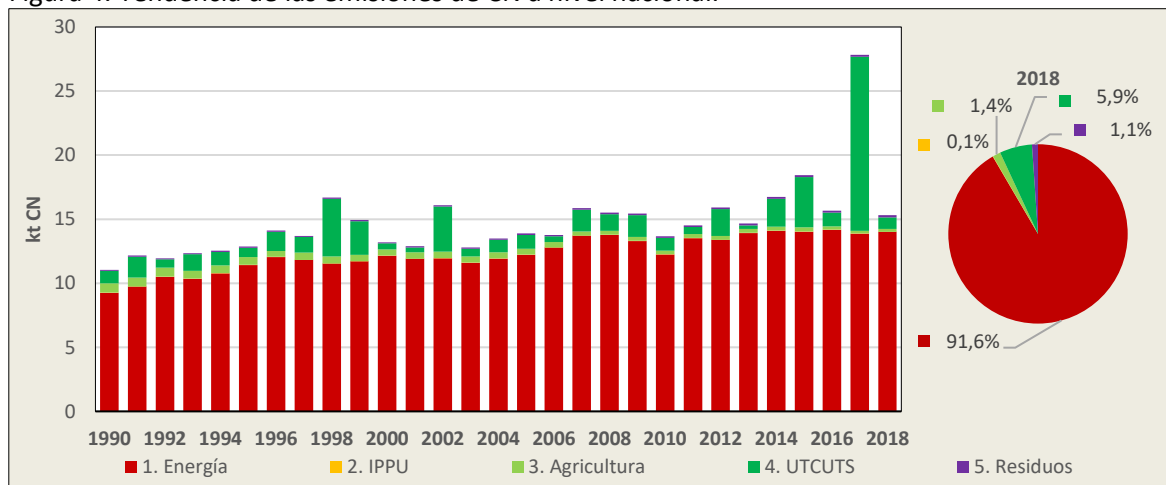
Tabla 1. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) por sector, serie 1990-2018

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018
1. Energía	9,26	12,15	12,25	13,93	14,17	13,87	14,01
2. IPPU	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Agricultura	0,74	0,49	0,28	0,31	0,27	0,21	0,22
4. UTCUTS	0,96	0,46	0,99	0,27	1,07	13,58	0,90
5. Residuos	0,08	0,09	0,12	0,14	0,15	0,15	0,16
Total	11,05	13,20	13,66	14,66	15,67	27,83	15,30

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Observando la serie se puede ver una estabilización de las emisiones de CN para los últimos años de la serie, donde las emisiones solo se ven alteradas por los incendios ya mencionados. Esta estabilización de la serie se debe mayormente a la inclusión de tecnologías menos contaminantes en los sectores Industrias manufactureras y de la construcción, y Transporte.

Figura 4. Tendencia de las emisiones de CN a nivel nacional.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3. SECTOR ENERGÍA (1)

3.1. Panorama general

3.1.1. Tendencia de las emisiones de CN

El sector Energía contabiliza las emisiones de CN producidas por la quema de combustibles fósiles y biocombustibles. Este sector es el mayor emisor de CN, con un 91,6% de las emisiones en 2018, en donde, en el mismo año, las emisiones de CN alcanzaron las 14,01 kt, lo que representó un aumento del 51% respecto de 1990 y una disminución del 1% respecto del 2016.

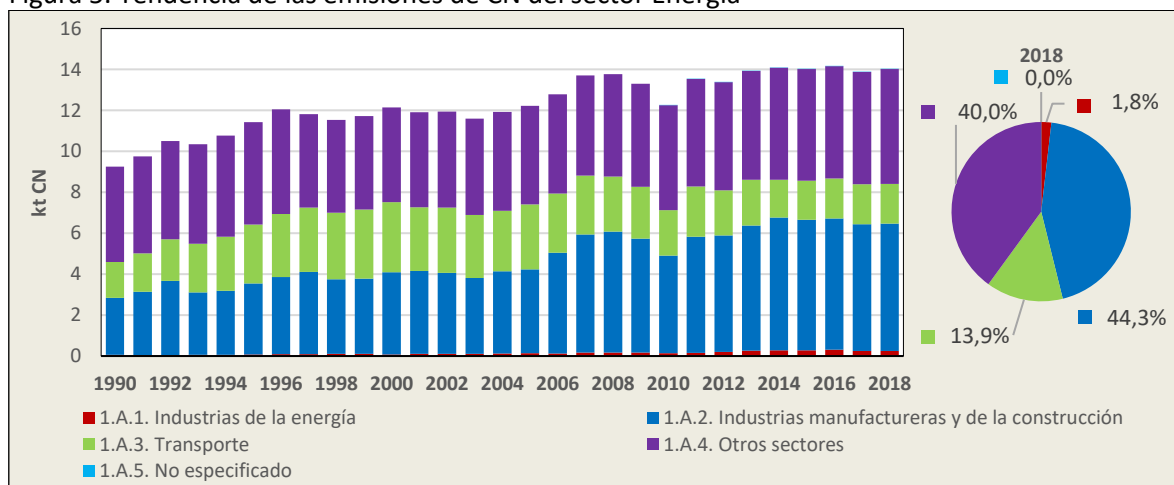
Tabla 2. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) producto del sector Energía, serie 1990-2018

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018
1.A.1. Industrias de la energía	0,06	0,08	0,14	0,26	0,31	0,25	0,26
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	2,80	4,02	4,76	6,11	6,40	6,19	6,21
1.A.3. Transporte	1,74	3,42	2,22	2,23	1,96	1,95	1,95
1.A.4. Otros sectores	4,67	4,62	5,12	5,32	5,49	5,49	5,60
1.A.5. No especificado	-	-	0,001	0,004	0,0003	0,0003	0,0001
Total	9,26	12,15	12,25	13,93	14,17	13,87	14,01

Por otra parte, respecto de la participación sectorial en las emisiones de CN se tiene que, en 2018, el 44,3% de las emisiones corresponden a las Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2), 40% corresponden a Otros sectores (1.A.4), 13,9% corresponden al Transporte (1.A.3) y 1,8% corresponden a las Industrias de la energía (1.A.1).

Es importante destacar que en los últimos años de la serie las emisiones de CN se mantienen cercanas a las 14 kt lo que se debe mayormente al sector Transporte, el cual disminuye sus emisiones al adoptar nuevas normativas vehiculares. El 2010 se observa una disminución mayor en los sectores 1.A.2 y 1.A.3, debido principalmente a la baja en los consumos energéticos producto, en parte, al terremoto que afectó Chile en febrero de ese año.

Figura 5. Tendencia de las emisiones de CN del sector Energía



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.1.2. Paramétricos sector Energía

Los niveles de actividad provenientes del Balance Nacional de Energía (BNE) utilizados en la estimación de emisiones del sector Energía contabilizan el consumo energético por cada combustible. Por su parte, los factores de emisión contabilizan la cantidad de contaminantes que se emiten según alguna actividad específica.

El sector Energía presenta los niveles de actividad en consumos energéticos (TJ), por lo que, en algunos casos, es necesario parametrizar el nivel de actividad o el factor de emisión para calcular las emisiones. A continuación, se presentan los factores utilizados en algunas parametrizaciones realizadas para obtener los factores de emisión adecuados.

Tabla 3. Paramétricos utilizados en la elaboración del INCN

Combustible	Densidad (t/m ³)	Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	Factor (kcal/Kg) a (TJ/Gg) en PCI	Poder Calorífico Inferior (TJ/Gg)
Gasolina	0,730	11.200	3,977	44,5
Gasolina Aviación	0,700	11.400	3,977	45,3
Kerosene Aviación	0,810	11.100	3,977	44,1
Kerosene	0,810	11.100	3,977	44,1
Diesel	0,840	10.900	3,977	43,4
Petróleo Combustible	0,945	10.500	3,977	41,8
Gas Licuado	0,550	12.100	3,768	45,6
Nafta	0,700	11.500	3,977	45,7
Alquitrán	-	10.400	3,977	41,4
Gas Refinaría (*)	0,58	4.260	3,977	16,9
Carbón	-	7.000	3,977	27,8
Coque metalúrgico	-	7.000	3,977	27,8
Gas Corriente (*)	-	4.600	3,768	17,3
Gas Alto Horno (*)	-	7.200	3,768	27,1
Gas Natural (*)	-	9.341	3,768	35,2
Leña	0,590	3.500	3,977	13,9
Biogás (*)	-	5.600	3,768	21,1
Coque de Petróleo	-	8100	3,977	32,2

Fuente: INGEI

* kcal/m³

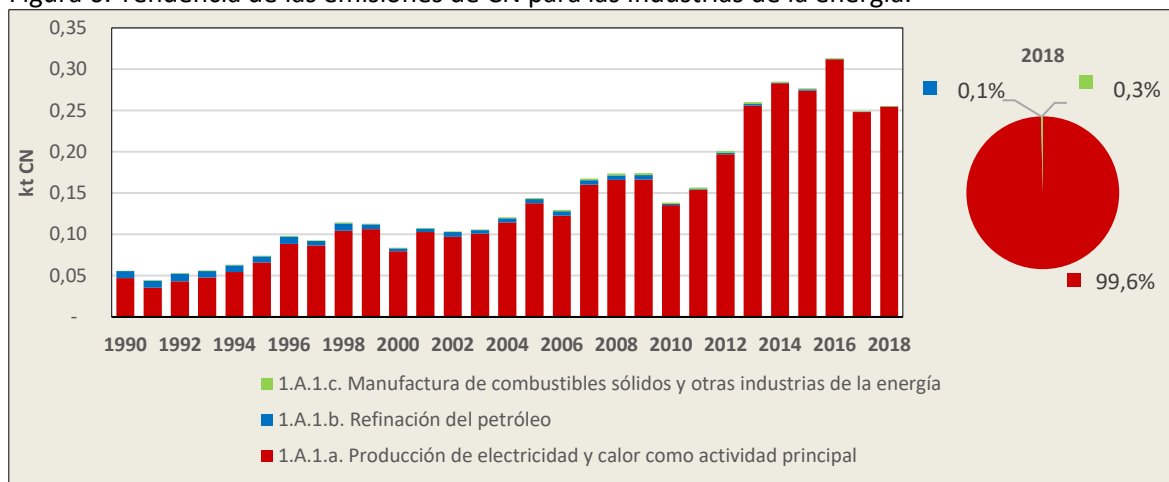
3.2. Industria de la energía (1.A.1.)

3.2.1. Tendencia de las emisiones de CN

La primera categoría del sector Energía corresponde a la Industrias de la energía. Esta categoría es la menor emisora de CN del sector. En 2018, las emisiones de esta categoría aportaron con el 1,8% de las emisiones del sector, alcanzando las 0,26 kt de CN, aumentando en un 359% respecto de 1990 y disminuyendo en un 18% respecto del 2016.

Las emisiones contabilizadas en esta categoría consideran los consumos de combustibles de la producción de electricidad, refinación de petróleo y la manufactura de combustibles.

Figura 6. Tendencia de las emisiones de CN para las Industrias de la energía.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.2.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía fueron calculadas utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias de la energía

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (consumo de combustible).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).
- i: Categoría.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.2.2.1. Datos de actividad

Para la estimación de emisiones de CN se utilizaron los niveles de actividad del INGEI, serie 1990 – 2018. Además, se contabilizaron las emisiones producto de autoproducción de diferentes industrias, las que se detallan en el numeral **3.3.2.1**.

3.2.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía se utilizaron factores de emisión Tier 1 de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. Debido a que la mayoría de los consumos se encuentran en la categoría Producción de electricidad y calor como actividad principal, se optó por utilizar los factores de emisión disponibles para esa categoría, excepto para las emisiones provenientes del gas de refinación, en la cual se contó con un factor de emisión específico. A continuación, se presentan los factores de emisión por combustible utilizados en la categoría, como también la homologación, en relación con el tipo de combustible que se consideró en la estimación.

Tabla 4. Factores de emisiones para Industrias de la energía

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia	Nota
1.A.1. Industrias de la energía	Queroseno para motor a reacción	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Otro queroseno	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Gas / Diésel oil	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Fuelóleo residual	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como <i>heavy fuel oil</i>
	Gases licuados de petróleo	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Nafta	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Otro carbón bituminoso	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como <i>hard coal</i>
	Gas natural	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Madera y desechos de madera	4,39	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-7)	Como <i>biomass</i>
	Otro biogás	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Coque de Petróleo	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como <i>hard coal</i>
	Gasolina para motor	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Gas de refinería	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.b, Table 4-2)	Como <i>refinery gas</i>
	Gas de fábrica de gas	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Alquitrán	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como <i>heavy fuel oil</i>
Gas de alto horno	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

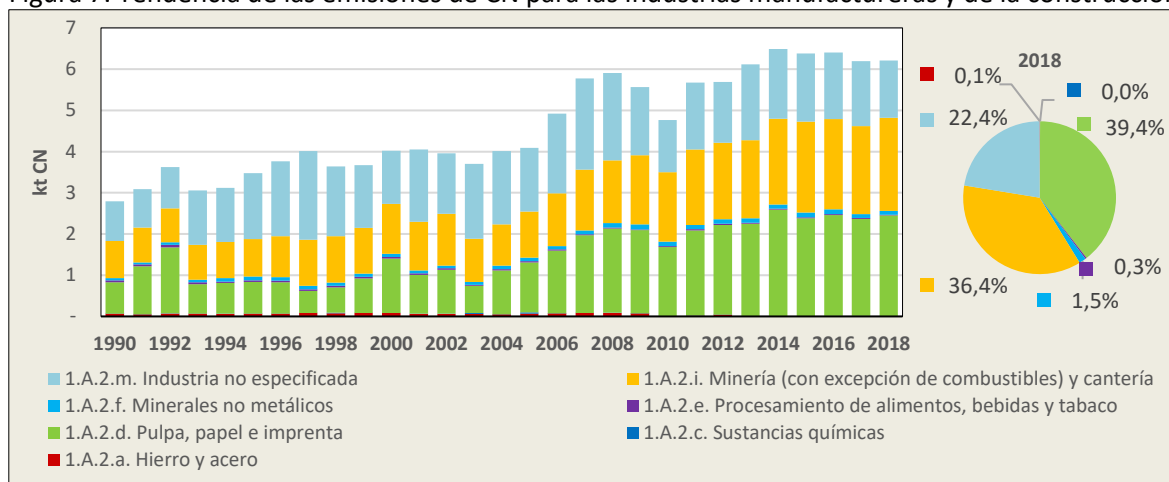
3.3. Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.)

3.3.1. Tendencia de las emisiones de CN

La segunda categoría del sector Energía corresponde a las emisiones del sector Industrias manufactureras y de la construcción. En términos de emisiones, en 2018 las emisiones alcanzaron las 6,2 kt de CN, representando el 44,3% de las emisiones totales del sector Energía. Esto representó un aumento del 122% respecto de 1990 y una disminución del 3% respecto del 2016. Esta tendencia es producto principalmente de la industria de la celulosa y la minería.

En esta categoría se contabilizan las emisiones producto de la actividad industrial y minera, además, en esta versión del INCN se incluyeron las emisiones producto de las maquinarias, bajo el nombre Maquinaria Fuera de Ruta (MFR), utilizadas en estas actividades. Las emisiones de estas últimas fueron agregadas a cada categoría según el consumo de diésel destinado a las MFR. Por otra parte, también se descontaron los consumos producto de autoproducción de energía de los mayores productores. Como se menciona anteriormente, estos consumos fueron agregados a la categoría Industrias de la energía, lo que impacta mayormente a las emisiones de CN en la categoría Pulpa, papel e imprenta.

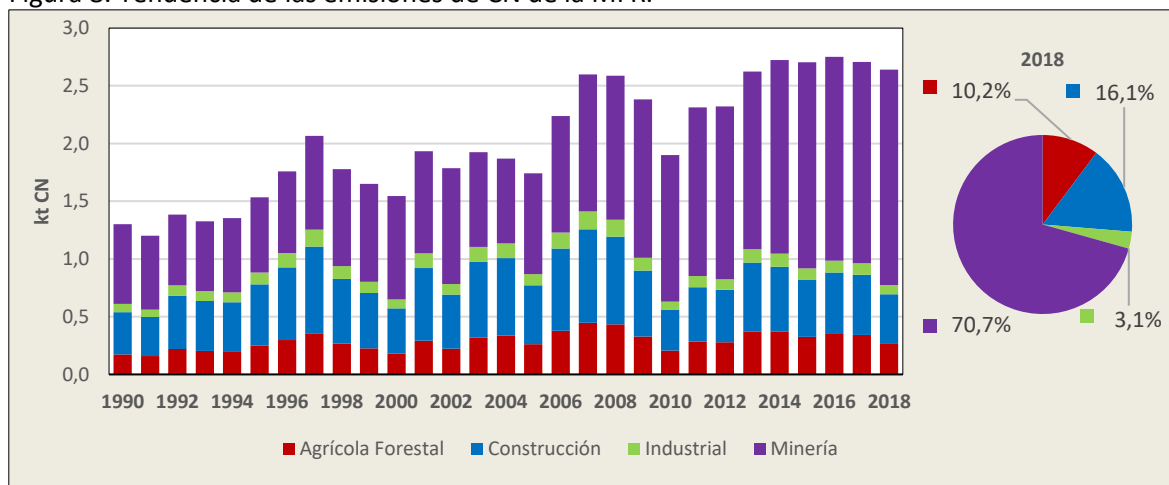
Figura 7. Tendencia de las emisiones de CN para las Industrias manufactureras y de la construcción.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por su parte, en 2018 las emisiones provenientes de la MFR alcanzaron las 2,6 kt de CN, aportando con el 43% de las emisiones la categoría Industrias manufactureras y de la construcción. Esto representó un aumento del 103% respecto de 1990 y una disminución del 4% respecto del 2016.

Figura 8. Tendencia de las emisiones de CN de la MFR.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.3.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de emisiones de CN de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se realizó en base a los consumos de combustibles de las diferentes categorías. En esta se contabilizaron las emisiones provenientes de procesos involucrados en las actividades industriales y mineras, mientras que los consumos producto de la autoproducción de energía se contabilizaron en la categoría Industrias de la energía. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para la estimación de emisiones de la categoría.

Ecuación 2. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias manufactureras y de la construcción

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (consumo de combustible).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).
- i: Categoría
- j: Combustible

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.3.2.1. Datos de actividad

Respecto de los consumos producto de la autoproducción de energía, se contó con los consumos energéticos para toda la serie para diferentes categorías. Sin embargo, estas categorías fueron definidas en base al BNE (<http://energiabierta.cl/>), por lo que la contabilización de algunos consumos no se pudo hacer de forma directa en todos los casos. Es por esto que solo algunos de los consumos por autoproducción de energía fueron restados de los consumos finales de las diferentes categorías. Vale decir que los consumos restados considerados en el inventario representan más del 90% del consumo por autoproducción, por lo que los consumos no contabilizados no tienen una mayor importancia en la estimación de emisiones. La siguiente tabla muestra las categorías consideradas y su equivalencia según categorías INGEI.

Tabla 5. Asignación de consumos según categoría BNE e INGEI

Categoría BNE	Combustible	Categoría INGEI	Combustible
Papel y celulosa	Biomasa – leña	Pulpa, papel e imprenta	Madera y desechos de madera
	Diésel		Gas / Diésel oil
	Petróleo combustible		Fuelóleo residual
Industrias varias	Biomasa – leña	Industria no especificada	Madera y desechos de madera
	Diésel		Gas / Diésel oil
	Petróleo combustible		Fuelóleo residual
Cobre	Diésel	Cobre	Gas / Diésel oil
	Petróleo combustible		Fuelóleo residual
Hierro	Diésel	Hierro	Gas / Diésel oil

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por otra parte, cabe destacar que, en esta estimación solo se consideraron los consumos por autoproducción de diésel, biomasa y petróleo combustible, dejando fuera la autoproducción por gas natural, gas licuado, gas corriente y carbón debido a que el uso de estos combustibles es menor a los otros y no generan mayores emisiones de CN. La siguiente tabla muestra los consumos por autoproducción que fueron considerados en el inventario.

Tabla 6. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 - 2018

	Pulpa, papel e imprenta			Industria no especificada			Cobre		Hierro
	Madera y desechos de madera	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Madera y desechos de madera	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil
1990	6.264	174	4.217	-	1.114	370	586	4.808	107
1991	3.977	64	3.451	-	410	303	216	3.935	39
1992	6.714	51	3.906	-	323	343	170	4.454	31
1993	7.179	42	4.359	-	268	382	141	4.970	26
1994	7.840	53	5.631	-	338	494	178	6.420	32
1995	9.506	55	6.259	-	355	549	186	7.136	34
1996	11.531	48	3.354	-	304	294	160	3.824	29
1997	11.335	71	3.446	-	451	302	237	3.929	43
1998	15.791	72	3.722	-	459	327	241	4.244	44
1999	14.299	130	4.578	-	828	402	435	5.219	79
2000	12.094	19	1.803	-	425	-	58	3.278	68
2001	18.313	12	686	-	347	-	74	3.032	74
2002	16.547	10	583	-	360	-	117	2.657	53
2003	16.180	15	389	-	336	-	40	2.291	42
2004	17.467	36	432	-	50	-	112	2.247	43
2005	21.906	36	877	-	149	-	54	2.164	43
2006	19.376	122	867	-	101	-	59	2.173	37
2007	19.674	305	1.509	-	25	-	103	2.512	36
2008	20.590	84	1.810	-	328	7	156	2.816	36
2009	23.388	13	1.509	-	338	74	240	2.825	38
2010	19.997	15	2.011	-	386	99	274	3.766	43
2011	24.650	4	-	-	2.304	11	351	462	102
2012	25.072	170	3.874	-	17.957	12	404	2.186	96
2013	26.083	62	2.530	-	1.491	0	481	1.568	85
2014	29.910	15	4.438	2.574	681	1.082	407	-	0
2015	19.059	80	2.806	802	794	420	235	0	21
2016	22.031	51	1.794	916	610	216	1.274	-	-
2017	25.995	22	-	1.432	841	218	1.294	-	-
2018	27.588	109	1.792	1.331	758	261	1.243	-	-

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

De esta manera, considerando los consumos anteriores, los nuevos consumos vendrán dados por la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Estimación de consumo final para las Industrias manufactureras y de la construcción

$$CF_i = CA_i - AP_i$$

Donde:

- CF: Consumo final (TJ).
- CA: Consumo antiguo (TJ).
- AP: Autoproducción (TJ).
- i: Combustible.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.3.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se utilizaron factores de emisión Tier 1 correspondientes a las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 7. Factores de emisión para Industrias manufactureras y de la construcción

Categoría	Combustible	Kg (CN)/TJ	Referencia	Nota
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	Otro queroseno	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gas / Diésel oil	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Fuelóleo residual	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor 1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-2)	Como <i>solid fuels</i>
	Coque para horno de coque y coque de lignito	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-2)	Como <i>solid fuels</i>
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Gas de alto horno	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Madera y desechos de madera	39,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-5)	Como <i>biomass</i>
	Gasolina para motor	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gas de refinería	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Otros productos del petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Nafta	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Queroseno para motor a reacción	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Coque de Petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gasolina para la aviación	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Otro biogás	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.3.3. Aspectos metodológicos maquinaria fuera de ruta

La estimación de las emisiones provenientes de la MFR se realizó en base al primer inventario de emisiones de MFR de Chile, elaborado por (GEASUR, 2014). Este estudio elabora un inventario con año base 2013, el cual ha sido utilizado como base para otros estudios (MMA, 2016, Gallardo et al, 2020). En el INCN, serie 1990 – 2018, se utilizó como base de la estimación el parque de maquinarias y los consumos estimados por dicho inventario. Además, se contabilizaron las emisiones provenientes de las maquinarias utilizadas en la gran minería del cobre.

Respecto del parque estimado por GEASUR, se tiene diferentes maquinarias agrupadas en cuatro actividades diferentes, siendo estas: Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial y Minería, donde las maquinarias consideradas en este parque deben cumplir con la siguiente definición:

“Cualquier máquina móvil o equipo industrial portátil o vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, aptos para desplazarse sobre el suelo, con o sin carretera y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW pero inferior a 560 kW.”

Las maquinarias contabilizadas provienen de las bases de datos de aduanas, donde se considera que todas las maquinarias ingresadas al país son vendidas. El parque estimado para el año 2013 considera todas las maquinarias ingresadas desde el 2000 al 2013, asumiendo que toda la maquinaria antes del 2000 fue extraída del parque.

Siguiendo el mismo supuesto, se elaboró un parque de maquinarias para la serie 2013 – 2018. A continuación, se presenta el parque estimado según metodología GEASUR para dicho periodo.

Tabla 8. Parque estimado (maquinarias) para la serie 2013 – 2018

Rubro	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Agrícola - Forestal	36.581	40.881	44.511	47.471	46.366	44.654
Construcción	39.109	40.813	42.660	44.969	47.268	49.382
Industrial	8.327	8.619	9.668	10.437	11.446	12.791
Minería	12.317	14.297	16.553	17.118	17.766	18.584

Fuente: División de Calidad del Aire

Considerando la serie de 2013 – 2018 fue posible estimar un parque hacia 1990. Para esto se consideró que un decrecimiento de un 4% cada año hacia atrás.

El parque estimado sirve como indicador para diferenciar las maquinarias según normativa y asignarle el consumo según la edad de la maquinaria. Respecto de las normativas, estas se asignaron según los porcentajes de maquinarias con diferentes normativas estimados por GEASUR, para cada rubro. Por otra parte, el consumo etario se elaboró en base al supuesto de que las maquinarias mayores a trece años salen del parque y el consumo etario proveniente de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los consumos porcentuales según edad.

Tabla 9. Consumo etario (%) para MFR

Año de la MFR	% anual de combustible consumido	Referencia
0	14,0	Elaborado en base a EMEP/EEA (2019) 1.A.4 (Table 3-3)
1	12,0	
2	12,0	
3	12,0	
4	12,0	
5	12,0	
6	8,7	
7	5,3	
8	2,0	
9	2,0	
10	2,0	
11	2,0	
12	2,0	
13	2,0	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto de los niveles de actividad, estos se estimaron en base a GEASUR. En dicho estudio se estimaron los consumos para los diferentes rubros definidos en el inventario de MFR. Como resultado se obtuvo los siguientes parámetros para el año base.

Tabla 10. Año base del inventario de GEASUR

Rubro	Consumo de diésel (m ³)	% Consumo	Flota	% Flota
Agrícola Forestal	275.229	22%	36.581	38%
Construcción	580.773	46%	39.109	41%
Industrial	111.427	9%	8.327	9%
Minería	299.655	24%	12.317	13%
Total	1.267.084	100%	96.334	100%

Fuente: GEASUR 2014

Considerando esto, se designaron los consumos de estas actividades según las categorías del INGEI. Para esto se siguió la siguiente asignación.

Tabla 11. Asignación de consumos según rubros.

Rubro GEASUR	Categoría INGEI
Agrícola Forestal Construcción Industrial	Hierro y acero Sustancias químicas Pulpa, papel e imprenta Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco Minerales no metálicos Industria no especificada
Minería	Minería del cobre Minería del hierro Minería del salitre Minas varias

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

De esta manera, se contó con diferentes parámetros para realizar una estimación de las emisiones provenientes de la MFR con una metodología Tier 2, proveniente de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. La ecuación utilizada fue la siguiente.

Ecuación 4. Emisiones de CN producto del uso de diésel en maquinaria fuera de ruta

$$\sum E = NA * CE * Tec_i * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (t de diésel).
- CE: Consumo etario (%).
- Tec: Tecnología de la maquinaria (%).
- FE: Factor de emisión (g de CN/t de diésel)
- i: Actividad

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Por otro lado, se realizó una estimación de las emisiones provenientes de las MFR de la gran minería del cobre. Debido a la definición de una MFR (presentada anteriormente), los consumos de las grandes maquinarias de la gran minería del cobre no son contabilizadas como MFR, puesto que, los camiones de transporte de material exceden las 560 kW que define una MFR. Es por esto que en otras estimaciones se ha dejado fuera los consumos de combustibles de estas maquinarias. La ecuación utilizada en la estimación de emisiones fue la siguiente.

Ecuación 5. Emisiones de CN producto del uso de diésel en maquinaria fuera de ruta en la gran minería del cobre

$$E = NA * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ de diésel).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.3.3.1. Datos de actividad

Respecto de los rubros distintos de la minería, se consideró que todo el consumo de diésel reportado en estas categorías se utiliza en maquinarias. Este supuesto se basó en la estimación realizada por GEASUR, la cual excedía (en un 1%) los niveles de diésel reportados por las categorías INGEl, según los rubros correspondientes a GEASUR. Cabe destacar que, de todos los consumos reportados de estas categorías, el mayor consumidor es la Industria no especificada. Por otra parte, para el sector minería se consideró que un 15% de los consumos diésel total fue utilizado en MFR. Este supuesto se realizó en base a que el consumo reportado por GEASUR para minería corresponde al 15% del consumo total de diésel en la minería. Todos estos supuestos fueron utilizados durante toda la serie. A continuación, se presentan los consumos de combustibles utilizados en la estimación de emisiones de MFR.

Tabla 12. Consumos de diésel (TJ) por categoría industrial destinados para MFR, serie 1990 - 2018

	Hierro y acero	Sustancias químicas	Pulpa, papel e imprenta	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	Minerales no metálicos	Industria no especificada
1990	80	59	72	2	189	10.377
1991	62	96	147	1	133	9.577
1992	72	95	6.436	0	128	7.107
1993	72	15	116	0	259	12.601
1994	80	12	139	0	240	12.465
1995	69	30	119	0	126	15.764
1996	68	15	103	0	191	18.782
1997	142	33	147	1	218	22.333
1998	118	200	102	1	421	16.280
1999	150	41	239	1	417	13.752
2000	131	41	103	-	462	11.185
2001	70	9	84	-	498	18.734
2002	48	15	259	-	473	14.112
2003	4	400	366	20	274	20.886
2004	80	14	524	-	221	22.831
2005	54	81	166	-	280	18.483
2006	47	72	55	-	237	27.958
2007	116	14	210	-	317	33.625
2008	96	13	412	13	476	33.662
2009	40	5	422	13	427	26.351
2010	14	17	473	23	502	16.649
2011	-	21	68	25	411	24.424
2012	38	40	255	25	267	24.632
2013	-	41	46	19	68	34.586
2014	40	15	134	19	284	34.639
2015	3	12	46	17	242	31.444
2016	331	217	850	11	329	33.162
2017	308	214	913	24	151	34.172
2018	233	20	985	16	115	28.369

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Tabla 13. Consumos de diésel (TJ) por categoría minera destinados para MFR, serie 1990 - 2018

	Minería del cobre	Minería del hierro	Minería del salitre	Minas varias
1990	1.105	103	112	1.022
1991	1.085	125	91	915
1992	1.082	108	84	680
1993	1.156	14	88	1.189
1994	1.328	138	89	1.182
1995	1.506	23	89	1.491
1996	1.555	168	139	1.771
1997	1.891	185	158	1.939
1998	2.407	173	146	1.797
1999	2.701	129	190	1.525
2000	2.754	182	222	1.794
2001	3.149	153	190	1.886
2002	3.422	127	252	1.871
2003	3.028	106	174	1.615
2004	2.791	23	239	2.198
2005	3.821	27	203	1.819
2006	4.457	27	203	1.988
2007	5.323	20	204	2.053
2008	5.742	22	250	1.720
2009	6.353	35	226	2.110
2010	5.728	150	270	3.380
2011	6.887	171	278	2.724
2012	7.438	467	314	2.446
2013	7.984	211	550	2.168
2014	9.389	321	470	1.889
2015	9.561	433	453	2.814
2016	9.688	272	207	3.057
2017	9.601	313	372	2.349
2018	10.343	337	377	2.363

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto de la gran minería del cobre, se incluyeron los consumos de estas maquinarias para visibilizar el impacto que estas generarían en las emisiones. La estimación de las emisiones de las MFR de la gran minería del cobre se realizó en base a un nivel de actividad definido en base a criterio de experto, el cual considera que el 80% del consumo de diésel de la categoría Minería del cobre se utiliza en el transporte de material, vale decir, en MFR y un factor de emisión para maquinarias A continuación, se presentan los consumos de combustibles utilizados en la estimación de emisiones de MFR de la gran minería del cobre.

Tabla 14. Consumos de diésel (TJ) en la gran minería del cobre producto de procesos y MFR, serie 1990 - 2018

	Procesos	MFR
1990	4.629	18.517
1991	4.262	17.049
1992	4.164	16.658
1993	3.863	15.451
1994	4.056	16.225
1995	3.939	15.755
1996	4.170	16.680
1997	4.768	19.071
1998	4.846	19.383
1999	4.922	19.686
2000	5.106	20.423
2001	4.826	19.303
2002	5.746	22.986
2003	4.688	18.754
2004	3.948	15.794
2005	4.955	19.821
2006	5.867	23.467
2007	7.125	28.500
2008	7.747	30.986
2009	8.558	34.232
2010	7.602	30.408
2011	9.160	36.639
2012	9.475	37.901
2013	9.911	39.646
2014	10.982	43.930
2015	11.761	47.042
2016	11.684	46.735
2017	11.634	46.536
2018	12.443	49.773

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.3.3.2. Factores de emisión

La estimación de emisiones de la MFR se realizó diferenciando las maquinarias por tipo de normativa, excepto en las maquinarias de la gran minería del cobre. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 15. Factores de emisión para maquinaria fuera de ruta

Categoría	Actividad	Tecnología	g (CN)/t (diésel)	Referencia
MFR	Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial, Minería	< 1981	3.414	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		1981-1990	2.369	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage I	800	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage II	825	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage IIIA	758	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
	Gran minería del cobre	-	1.306	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-1, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

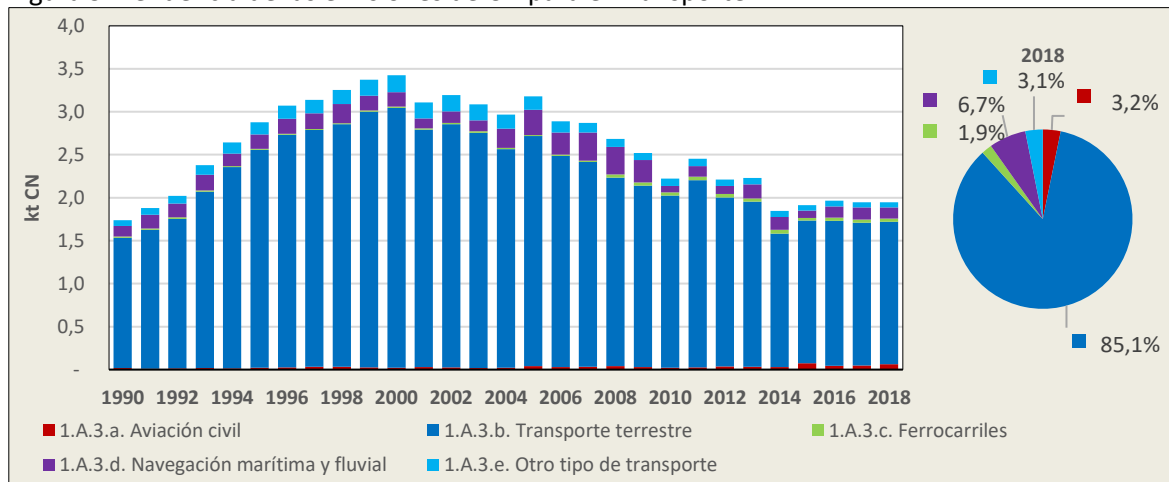
3.4. Transporte (1.A.3.)

3.4.1. Tendencias de las emisiones de CN

La categoría Transporte es la tercera más importante en cuanto a las emisiones de CN del sector Energía, con un 13,9% de las emisiones en 2018. En este se contabilizan las emisiones producto del uso de combustibles en transportes terrestres, marítimos y aéreos, en estos últimos dos, solo se considera el transporte nacional. En 2018 las emisiones alcanzaron las 1,9 kt de CN, aumentando en 12% desde 1990 y disminuyendo en un 1% desde el 2016.

Cabe destacar que el transporte es responsable de aproximadamente un tercio de las emisiones de GEI del sector Energía, con un constante aumento durante casi toda la serie, a diferencia de las emisiones de CN, las cuales disminuyen considerablemente debido a las normativas que regulan la emisión de partículas.

Figura 9. Tendencia de las emisiones de CN para el Transporte.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por otra parte, respecto de la variación de las emisiones de CN del transporte, se tiene que a pesar de que la demanda del sector va en constante aumento, las emisiones de CN luego del 2000 comienzan a decrecer sustancialmente. Esto se debe principalmente a la adopción de nuevas normativas vehiculares en el transporte terrestre. Dicho esto, considerando el máximo de las emisiones en el 2000, se tiene que al 2018 las emisiones de CN disminuyeron en un 43%.

3.4.2. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron varios factores que repercuten en las emisiones producto del uso de vehículos. Particularmente se contó con información para el Transporte terrestre, las demás categorías fueron estimadas con una metodología simple, debido los bajos consumos energéticos que estas tienen.

En el caso del Transporte terrestre se estimaron las emisiones de CN según las normativas que rigen los diferentes tipos de vehículos. Esta estimación solo se realizó para las categorías de vehículos más importantes (que presentan un mayor consumo energético), siendo estas los Automóviles (1.A.3.b.i), los Camiones para servicio ligero (1.A.3.b.ii) y los Camiones para servicio pesado y autobuses (1.A.3.b.iii), las otras categorías no consideraron diferentes tecnologías en su estimación.

3.4.2.1. Aspectos metodológicos del Transporte terrestre

Para visualizar las emisiones según diferentes normativas se contó con un parque vehicular para toda la serie y el calendario normas vehiculares oficial. Por su parte, el parque vehicular utilizados presentó la siguiente estructura.

Tabla 16. Estructura de parque vehicular utilizado para el INCN.

Tipo de vehículo	Motorización	Tecnología
Automóviles	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Camiones livianos	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Motocicletas	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Todo terreno	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Camiones	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Buses	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Agrícola	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

En este caso el parque vehicular contabilizaba algunos vehículos con motorizaciones que no corresponden. Por ejemplo, se contabilizan Buses y Camiones con motorización gasolina, lo que no es correcto. Sin embargo, en términos de emisiones esto solo afecta la cantidad de vehículos por normativa, ya que el nivel de actividad principal es el consumo de combustible. Para efectos de cálculos, los camiones y buses con motorización gasolina fueron considerados vehículos comerciales.

Respecto de la entrada en vigencia de las diferentes normativas vehiculares, se contó con calendario normativo oficial para los vehículos: Buses, camiones, automóviles y camiones livianos, y los vehículos Todo terreno fueron considerados como camiones livianos para la estimación. Esto, sumado al parque vehicular según tecnología, permitió elaborar los siguientes supuestos para la entrada de vehículos con nuevas normativas.

- Vehículos sin normativa
 - La cantidad de vehículos sin normativa es igual a la cantidad de vehículos del parque bajo la tecnología No catalítico.
- Entrada en vigencia de nuevas normativas
 - Debido a que los vehículos con nuevas normativas ingresan antes al país antes que entre en vigencia la norma, se consideró que todos los vehículos nuevos un año antes de la entrada de la nueva normativa funcionan bajo esa norma.
- Norma EURO I
 - El parque vehicular considerado estima que los vehículos catalíticos comienzan a ingresar al parque en 1995, sin embargo, la entrada en vigencia de la primera normativa sucede en 1992. Por lo tanto, para efectos de consistencia con el INGEI, se consideró que la entrada en vigencia de la primera normativa sucede en 1995.

Considerando estos supuestos y el parque vehicular, se logró establecer el consumo porcentual de combustible según normativas de los diferentes tipos de vehículos.

Por otra parte, para estimar la cantidad de emisiones por tipo de vehículo se consideraron los siguientes factores de consumo.

Tabla 17. Paramétricos utilizados en la estimación de emisiones del Transporte terrestre

Paramétrico	Tipo de vehículo	Motorización	km/l (combustible)	Referencia
Factor de consumo	Buses	Diésel	3	BNE
	Camiones		5	
	Camión ligero – Todo terreno	Diésel	12	
		Gasolina	8	
	Automóvil	Diésel	11	
		Gasolina	16	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

De esta manera la estimación de emisiones del Transporte terrestre se considera todos los parámetros mencionados anteriormente, utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 6. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en el Transporte terrestre

$$\sum E = NA_i * FC_i * Tec_i * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (lt).
- FC: Factor de consumo (km/lt).
- Tec: Tecnología según normativa (%).
- FE: Factor de emisión (g de CN/km)
- i: Tipo de vehículo
- j: Tipo de combustible

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Por otra parte, respecto de la asignación de las emisiones a las categorías del INGEI, esta se realizó siguiendo los criterios de la siguiente tabla.

Tabla 18. Homologación por tipo de vehículo

Vehículo (BNE)	Categoría INGEI	Nota
Vehículo pasajero	Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	Vehículo con normativa
	Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	Vehículo sin normativa
Vehículo comercial	Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	Vehículo con normativa
	Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	Vehículo sin normativa
Buses	Camiones para servicio pesado y autobuses	Se incluye la suma de los dos tipos de vehículos
Camiones		

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.4.2.2. Aspectos metodológicos del resto del transporte

La estimación de emisiones de las otras categorías de Transporte se realizó utilizando el consumo energético como nivel de actividad y un factor de emisión según combustible. La estimación se realizó mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 7. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en el resto del transporte

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ de combustible)
- FE: Factor de emisión (kg de CN/ TJ de combustible).
- i: Tipo de vehículo.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.4.2.3. Datos de actividad

3.4.2.4. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron diferentes factores de emisión según la metodología utilizada. Para el Transporte terrestre se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 19. Factores de emisión para Transporte Terrestre

Vehículo	Normativa	g (MP)/km	%CN	Referencia
Automóvil - Diésel	Sin norma	0,221	55%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-18
	Euro 1	0,084	70%	
	Euro 2	0,055	80%	
	Euro 3	0,039	85%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,031	87%	
	Euro 5	0,002	10%	
Automóvil – Gasolina	Sin norma	0,002	30%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-18
	Euro 1	0,002	25%	
	Euro 2	0,002	25%	
	Euro 3	0,001	15%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,001	15%	
	Euro 5	0,001	15%	
Camión ligero – Diésel	Sin norma	0,356	55%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-20
	Euro 1	0,117	70%	
	Euro 2	0,117	80%	
	Euro 3	0,078	85%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,041	87%	
	Euro 5	0,001	10%	
Camión ligero - Gasolina	Sin norma	0,002	30%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-20
	Euro 1	0,002	25%	
	Euro 2	0,002	25%	
	Euro 3	0,001	15%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,001	15%	
	Euro 5	0,001	15%	
Buses	Sin norma	0,470	50%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-24 (Como coaches standar)
	Euro 1	0,362	65%	
	Euro 2	0,165	65%	
	Euro 3	0,178	70%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,035	75%	
	Euro 5	0,035	75%	
Camiones	Sin norma	0,418	50%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-22 (Como 16t – 32t)
	Euro 1	0,297	65%	
	Euro 2	0,155	65%	
	Euro 3	0,130	70%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,024	75%	
	Euro 5	0,024	75%	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Para el resto del transporte se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 20. Factores de emisión para el resto de Transporte

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
Motocicletas	Gasolina para motor	5,43	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-6 EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-11
Aviación de cabotaje	Gasolina para motor	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gasolina para la aviación	2,21	Bond, et al. 2004 Table 7
	Queroseno para motor a reacción	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Otro queroseno	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Gas / Diésel oil	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Fuelóleo residual	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Gas natural	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
Ferrocarriles	Gasolina para motor	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gas / Diésel oil	20,54	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.c, Table 3-1)
	Fuelóleo residual	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Otro carbón bituminoso	25,47	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-3)
	Gas de fábrica de gas	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
Navegación marítima y fluvial nacional	Gasolina para motor	10,60	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-3)
	Queroseno para motor a reacción	2,21	Bond, et al. 2004 Table 7
	Otro queroseno	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Gas / Diésel oil	10,01	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-2)
	Fuelóleo residual	16,09	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-1)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Otro carbón bituminoso	25,47	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-3)
	Gas natural	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Las emisiones producto de combustibles gaseosos como gas licuado de petróleo y gas natural no fueron consideradas, debido a la baja emisión de partículas de estas.

3.5. Otros sectores (1.A.4.)

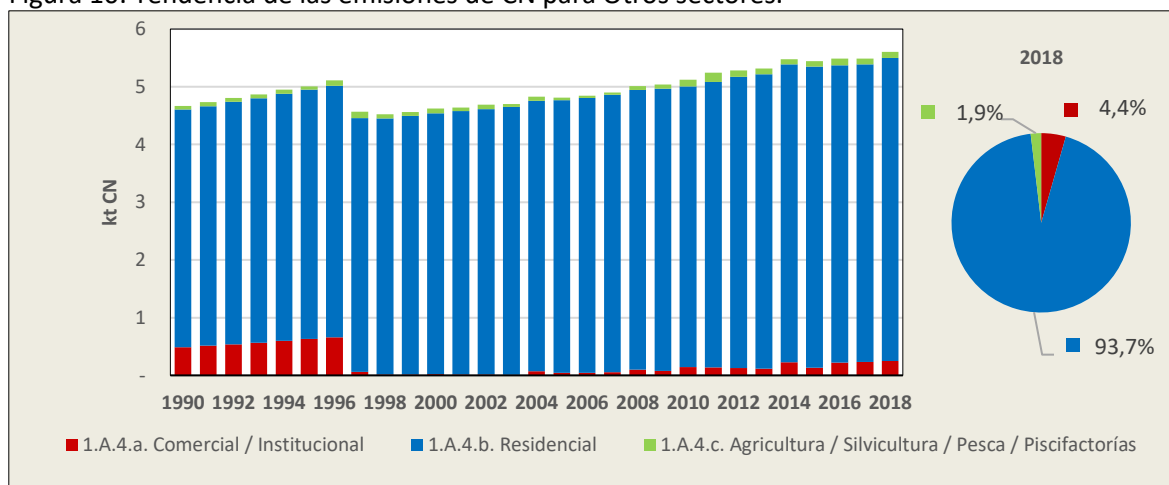
3.5.1. Tendencia de las emisiones de CN

La cuarta categoría corresponde a Otros sectores. Esta categoría es la segunda más importante en cuanto a las emisiones de CN, aportando con el 40% de las emisiones del sector Energía en 2018, alcanzando las 5,6 kt de CN. Estos niveles representaron un aumento del 20% respecto de 1990 y un aumento del 2% respecto del 2016.

Las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden, mayormente, a los consumos energéticos provenientes de las viviendas y comercios del país. Por su parte, el sector Residencial contabiliza las emisiones de CN producto del uso de combustibles en los hogares del país, donde las emisiones están fuertemente dominadas por el uso de leña para la calefacción de los hogares.

Para esta categoría las emisiones mantienen un aumento pequeño, pero constante durante toda la serie, presentando una única baja considerable en 1997, con la disminución de las emisiones de la subcategoría Comercial / Institucional.

Figura 10. Tendencia de las emisiones de CN para Otros sectores.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.5.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de emisiones de esta categoría se realizó considerando un nivel de actividad y un factor de emisión, diferenciando entre actividad y combustible. A continuación, se presenta la ecuación utilizada.

Ecuación 8. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en Otros sectores

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Consumo de combustible (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Actividad.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.5.2.1. Datos de actividad

3.5.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones se consideraron los factores de emisión propuestos por las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los factores utilizados.

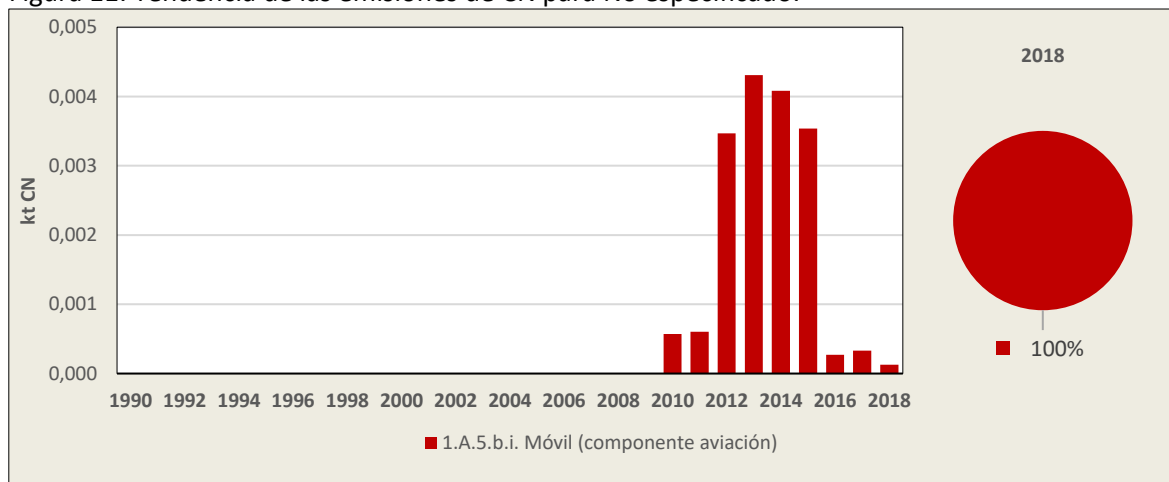
Tabla 21. Factores de emisión para Otros sectores

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
1.A.4.a. Comercial / Institucional	Gasolina para la aviación	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Otro queroseno	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gas / Diésel oil	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Fuelóleo residual	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.7)
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.10)
	Madera y desechos de madera	44,80	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro biogás	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
1.A.4.b. Residencial	Otro queroseno	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Gas / Diésel oil	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Fuelóleo residual	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Gases licuados de petróleo	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Otro carbón bituminoso	25,50	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.3)
	Gas de fábrica de gas	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Gas natural	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Madera y desechos de madera	74,00	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.6)
1.A.4.c.ii. Vehículo todo terreno y otra maquinaria	Gasolina para motor	0,18	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Gasoline: four-stroke
	Gas / Diésel oil	14,40	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Forestry
1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	Gasolina para motor	0,18	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Gasoline: four-stroke
	Otro queroseno	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gas / Diésel oil	10,00	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (Table 3-2 Tier 1 emission factors for ships using marine diesel oil/marine gas oil)
	Fuelóleo residual	10,00	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (Table 3-2 Tier 1 emission factors for ships using marine diesel oil/marine gas oil)
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.7)
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Madera y desechos de madera	44,80	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)

3.6. No especificado (1.A.5.)

Esta categoría corresponde a las emisiones provenientes de la quema de combustible para aviación en actividades no especificadas. Las emisiones de esta categoría representan menos del 0,1% del total de las emisiones del sector Energía, en donde solo se cuentan con datos desde el 2010 al 2018. Los consumos reportados en esta categoría corresponden a consumos de Queroseno para motor a reacción, por lo que el factor de emisión utilizado es el mismo que para las partidas informativas. Debido a la baja importancia de estas emisiones, no se entrará en detalles en esta categoría.

Figura 11. Tendencia de las emisiones de CN para No especificado.



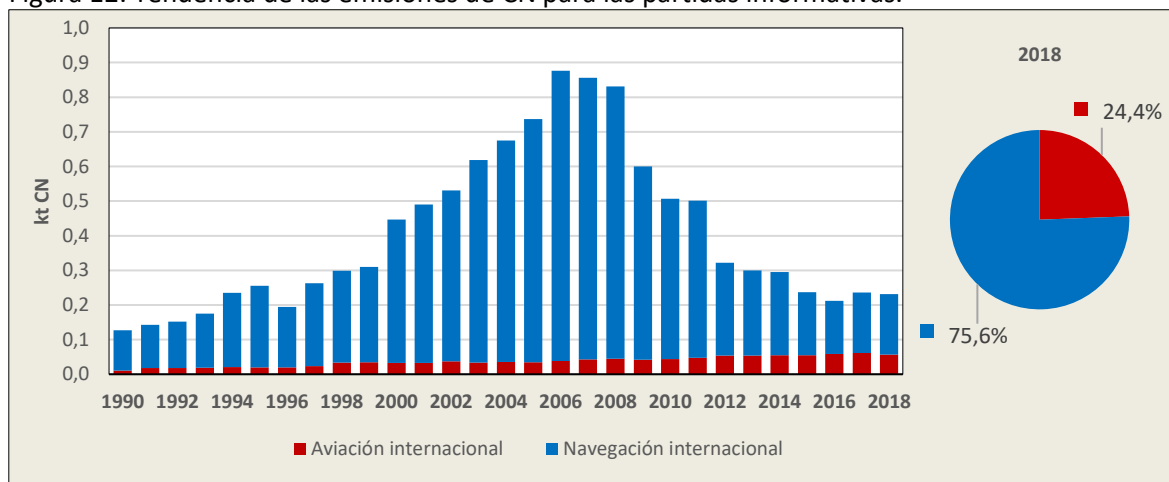
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.7. Partidas informativas

3.7.1. Tendencia de las emisiones de CN

Respecto de las Partidas informativas se tiene que la mayoría de las emisiones de CN provienen de la actividad de vehículos marítimos, esto debido al uso de diésel como fuente de energía. Para el 2018, las emisiones alcanzan las 0,2 kt de CN, lo que representó un aumento del 82% respecto de 1990 y un aumento del 9% respecto del 2016. Las emisiones muestran una disminución sustantiva desde el año 2006, disminuyendo en un 74% al 2018.

Figura 12. Tendencia de las emisiones de CN para las partidas informativas.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3.7.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de las emisiones de las Partidas informativas se realizó de manera simple, en otras palabras, se consideró un nivel de actividad y un factor de emisión por combustible. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para estimar las emisiones.

Ecuación 9. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en las partidas informativas

$$E = NA * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

3.7.2.1. Datos de actividad

3.7.2.2. Factores de emisión

Los consumos de las partidas informativas solo corresponden a consumos de tres combustibles. A continuación, se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 22. Factores de emisión para Partidas informativas

Categoría	Actividad	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
Partidas informativas	Aviación internacional	Queroseno para motor a reacción	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Navegación internacional	Gas / Diésel oil	10,01	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-2)
		Fuelóleo residual	16,09	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

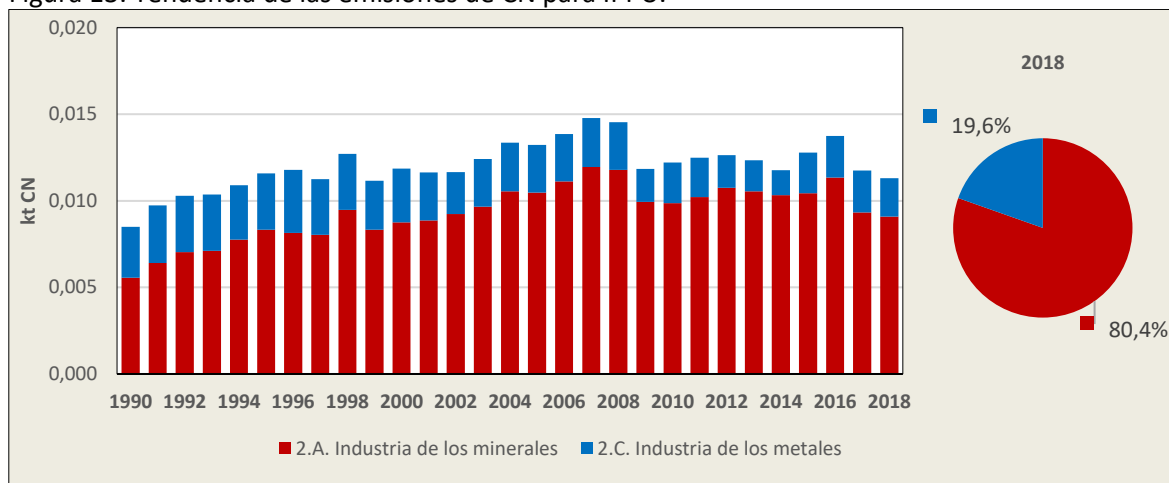
4. SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (2)

4.1. Panorama general

4.1.1. Tendencia de las emisiones de CN

El sector Procesos Industriales y uso de productos (IPPU) es el sector con menos de emisiones de CN a nivel nacional, con un 0,1% de las emisiones en 2018, alcanzando las 0,011 kt de CN. Esto representó un aumento del 33% respecto de 1990 y una disminución del 18% respecto del 2016. Respecto de la partición de emisiones en 2018, se tiene que un 80,4% de las emisiones provienen de la categoría Industria de los minerales (2.A) y el 19,6% restante de la categoría Industria de los metales (2.C).

Figura 13. Tendencia de las emisiones de CN para IPPU.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

4.1.1.1. Industria de los minerales (2.A.)

Dentro del sector IPPU la categoría Industria de los minerales es la mayor emisora, con 0,009 kt de CN en 2018. Estos niveles de CN representaron un aumento del 64% respecto de 1990 y una disminución del 20% respecto del 2016. Las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden a las actividades de producción de cemento, de cal y de vidrio.

4.1.1.2. Industria de los metales (2.C.)

La categoría Industria de los metales es segunda y última categoría del sector IPPU. Las emisiones alcanzaron las 0,002 kt de CN en 2018, lo que representó una disminución del 24% respecto de 1990 y una disminución del 8 respecto del 2016. Por otra parte, las emisiones contabilizadas en esta categoría consideran las actividades de Producción de hierro y acero y la Producción de ferroaleaciones. Cabe destacar que solo se cuenta con una estimación de producción de ferroaleaciones hasta el 2001, los años posteriores no cuentan con niveles de actividad de esta categoría.

4.1.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de emisiones del sector IPPU se realizó mediante una estimación simple, la que considera la cantidad de producción de materiales y un factor de emisión para cada producto. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para calcular las emisiones del sector IPPU.

Ecuación 10. Emisiones de CN producto de la fabricación de productos en IPPU

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (producción de materiales en toneladas).
- FE: Factor de emisión (g de CN/t de material).
- i: Actividad

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

4.1.2.1. Datos de actividad

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones corresponden a los del INGEI, serie 1990 – 2018.

4.1.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones del sector IPPU se utilizó la fracción de CN dentro de las emisiones de partículas. En este caso se consideró un factor de emisión por tipo de material producido. A continuación, se presentan los factores utilizados en la estimación de emisiones.

Tabla 23. Factores de emisión para el sector IPPU

Categoría	Actividad	g (MP _{2,5}) /t (material)	% CN	g (CN) / t	Referencia
2.A. Industria de los minerales	Producción de cemento	130	3%	3,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.1, Table 3-1)
	Producción de cal	700	0,46%	3,22	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.2, Table 3-1)
	Producción de vidrio	240	0,06%	0,15	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.3, Table 3-1)
2.C. Industrial de los metales	Producción de hierro y acero	140	0,36%	0,50	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.C.1, Table 3-1)
	Producción de ferroaleaciones	600	10%	60	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.C.2, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

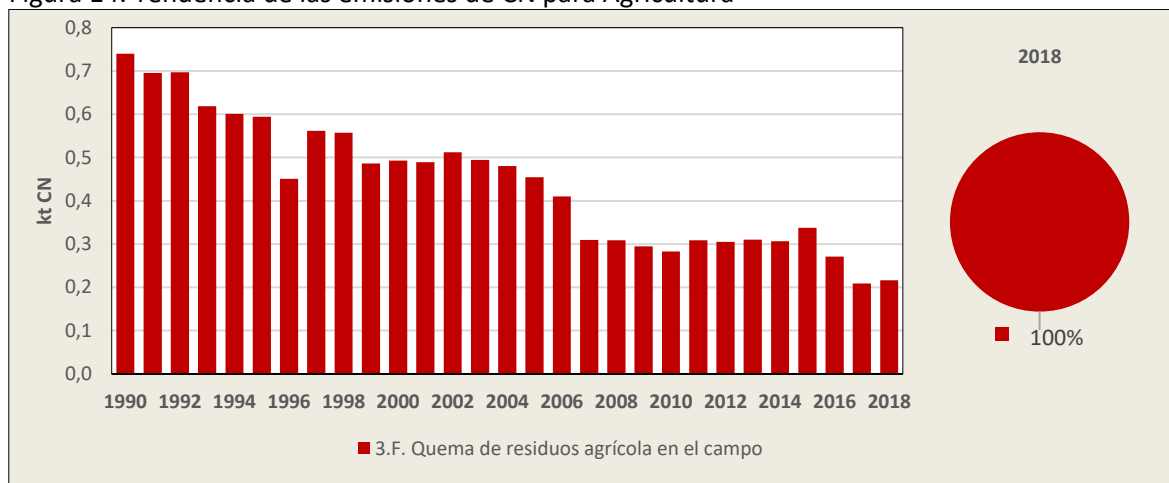
5. SECTOR AGRICULTURA (3)

5.1. Panorama general

5.1.1. Tendencia de las emisiones de CN

El sector Agricultura es el tercer sector más importante en cuanto a emisiones de CN, con el 1,4% de las emisiones en 2018. En el mismo año, las emisiones de CN llegaron a las 0,2 kt, lo que representó una disminución del 71% respecto de 1990 y un 20% respecto del 2016. Estas disminuciones se repiten durante toda la serie, donde se observa una baja constante durante toda la serie. Por otra parte, las emisiones de CN de este sector provienen únicamente de la categoría Quema de residuos agrícola en el campo.

Figura 14. Tendencia de las emisiones de CN para Agricultura



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

5.1.1.1. Quema de residuos agrícolas en el campo

Para la quema de residuos agrícolas se contabiliza la materia seca total quemada en la categoría. En este caso se ve una disminución sustantiva de las emisiones, desde 0,7 kt de CN en 1990 hasta 0,2 kt de CN en 2018. A lo largo de la serie se ve una disminución sostenida, salvo en algunos años en donde la cantidad de quema de residuos aumentan respecto del año anterior para luego volver a disminuir.

Las emisiones contabilizadas en este sector consideran la quema de Cereales y otros cultivos (3.F.1) y Frutícolas (3.F.2). Para la estimación de estas categorías se utilizó el mismo factor de emisión, por lo que las emisiones totales fueron agrupadas bajo la categoría 3.F.

5.1.2. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de emisiones del sector agricultura se realizó mediante una estimación simple, la que considera la cantidad de materia seca quemada y un factor de emisión. A continuación, se presentan la ecuación utilizada.

Ecuación 11. Emisiones de CN producto de la quema de residuos agrícolas en Agricultura

$$E = MS * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- MS: Materia seca quemada.
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t MS).

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

5.1.2.1. Datos de actividad

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones corresponden a los del INGEI, serie 1990 – 2018.

5.1.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones del sector Agricultura se utilizó un factor de emisión directo de CN. Este factor de emisión fue utilizado para estimar las emisiones de todas las categorías dentro del sector. A continuación, se presenta el factor utilizado.

Tabla 24. Factor de emisión para el sector Agricultura

Categoría	Actividad	Kg (CN)/t (materia seca)	Referencia
3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo	Cereales y otros cultivos	0,5	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (3.F, Table 3-1)
	Frutícolas	0,5	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (3.F, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

6. SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (4)

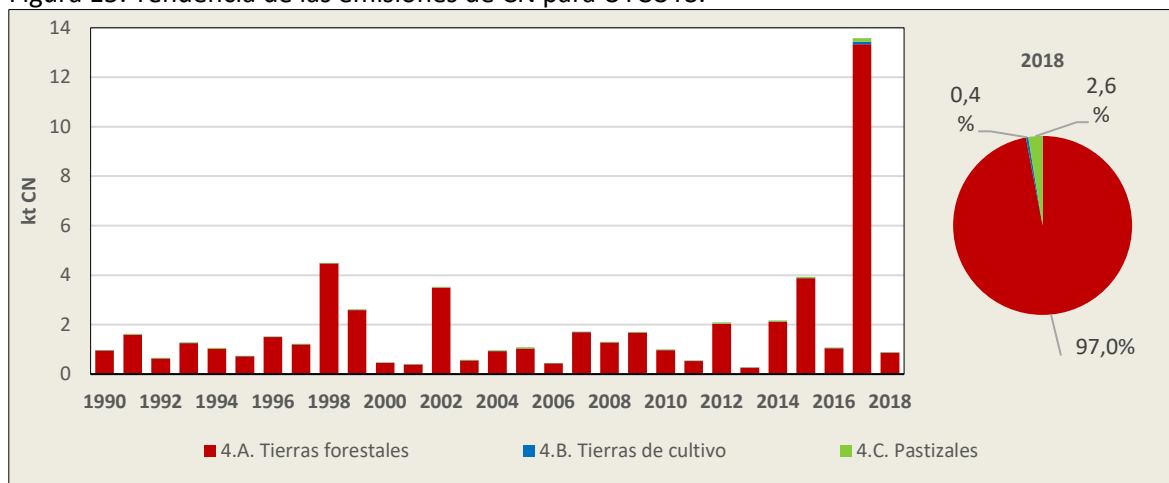
6.1. Panorama general

6.1.1. Tendencia de las emisiones de CN

El sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) es el segundo mayor emisor a nivel nacional. Las emisiones contabilizadas en este sector corresponden a las producidas por incendios forestales y quemas controladas, las que en 2018 representaron el 5,9% de las emisiones nacionales, con 0,9 kt de CN, disminuyendo en un 9% con respecto a 1990 y un 17% respecto del 2016.

Por otra parte, observando la serie no se puede ver una tendencia clara de las emisiones, debido a que los eventos de incendios forestales no son controlados, también resaltan los años 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017 en que las emisiones de CN superaron las 2 kt, especialmente en 2017, en donde cerca de 570.000 ha fueron afectadas por incendios que, en términos de emisiones, se tradujo en 13,6 kt de CN.

Figura 15. Tendencia de las emisiones de CN para UTCUTS.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

6.1.1.1. Tierras forestales (4.A.)

Las emisiones correspondientes a Tierras forestales representan más del 95% de las emisiones durante toda la serie, las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden a incendios y quemas controladas, las que se dividen en: Bosque nativo, Plantaciones forestales, Otras plantaciones y Quema controlada de residuos forestales. La participación de cada una de estas varía según donde ocurran los incendios, por lo que no hay una tendencia clara de que sector predomina sobre los otros. En 2018, las emisiones alcanzaron las 0,87 kt de CN, lo que represento una disminución de un 9% con respecto a 1990 y una disminución del 17% con respecto al 2016. Cabe destacar que, en 2017, las emisiones de esta categoría alcanzan las 13,3 kt de CN, siendo el máximo de toda la serie y con un nivel comparable a todo el sector energía. De esta manera, en 2017, se estima que las emisiones de CN se duplicaron debido a la magnitud los incendios que afectaron Chile.

6.1.1.2. Tierras de cultivo (4.B.)

Las Tierras de cultivos son la categoría menos impactada por incendios y a su vez la menos emisora de CN del sector. En 2018, las emisiones de esta categoría representaron un 0,4% de las emisiones del sector, con 0,004 kt de CN, lo que representó un aumento del 64% con respecto a 1990 y una disminución del 36% respecto del 2016. Por otra parte, en 2017 las emisiones de esta categoría alcanzan su máximo con 0,11 kt de CN.

6.1.1.3. Pastizales (4.C.)

La categoría Pastizales es la segunda mayor emisora del sector, con un 2,6% de las emisiones al 2018. En el mismo año, las emisiones alcanzaron las 0,02 kt de CN, lo que representó un aumento del 83% respecto de 1990 y una disminución del 36% respecto del 2016. En 2017 las emisiones de CN alcanzan su máximo, con 0,14 kt.

6.1.2. Aspectos metodológicos del sector

El cálculo de las emisiones del sector UTCUTS considera un nivel de actividad, un factor de emisión y otros factores que se detallan en la siguiente ecuación.

Ecuación 12. Emisiones de CN producto de la quema de biomasa en UTCUTS

$$\sum E = NA_i * BA_i * FC_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (hectáreas).
- BA: Biomasa aérea (t de biomasa/ha) o biomasa que puede quemarse.
- FC: Factor de combustión (porcentaje de biomasa quemada).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t de biomasa).
- i: Actividad.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

6.1.2.1. Datos de actividad

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones corresponden a los del INGEI, serie 1990 – 2018.

6.1.2.2. Factores de emisión

La estimación de emisiones del sector UTCUTS cuenta con diferentes niveles de detalle según la categoría estimada, particularmente para la categoría Tierras forestales, se cuenta con un factor de biomasa aérea por región. Para facilitar la lectura, solo se presentarán solo los factores de emisión y los otros factores no separados a nivel regional. A continuación, se presentan los factores de emisión para cada categoría y otros factores utilizados en la estimación de emisiones.

Tabla 25. Factores de emisión y otros factores para el sector UTCUTS

Categoría	Actividad	BA (t/ha)	FC (%)	kg (CN)/t (biomasa)	Referencia otros factores	Referencia FE
4.A. Tierras forestales	Bosque nativo	División regional	0,47	0,56	INGEI	Akagi et al. 2011
	Plantaciones forestales	División regional	0,47	0,56	INGEI	Akagi et al. 2011
	Otras	División regional	0,5	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011
	Quema controlada de residuos forestales	División regional	0,47	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011
4.B. Tierras de cultivo	Incendios en tierras de cultivo	0,7	0,7	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011
4.C Pastizales	Matorrales	División regional	0,72	0,37	INGEI	Akagi et al. 2011
	Pastizales	División regional	0,86	0,91	INGEI	Akagi et al. 2011

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

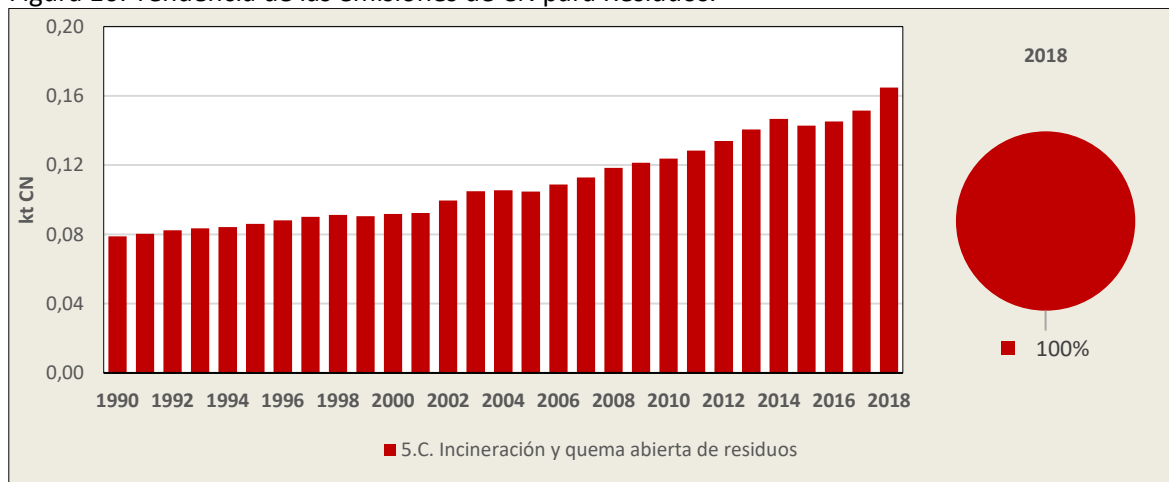
7. SECTOR RESIDUOS (5)

7.1. Panorama general

7.1.1. Tendencia de las emisiones de CN

Las emisiones de CN del sector Residuos provienen únicamente de la incineración de residuos, las que en 2018 correspondieron al 1,1% de las emisiones nacionales de CN, alcanzando las 0,16 kt de CN, incrementándose en un 109% desde 1990 y un 14% desde 2016. Estos aumentos se deben mayormente al incremento de población que impacta en la cantidad de residuos incinerados.

Figura 16. Tendencia de las emisiones de CN para Residuos.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

7.1.1.1. Incineración y quema abierta de residuos

Las emisiones de CN del sector Residuos provienen en su totalidad de la incineración y quema abierta de residuos, entre los que se encuentran: Residuos hospitalarios, quema abierta de residuos municipales, incineración de residuos industriales sin fines energéticos e incineración de cadáveres. Para la quema abierta de residuos municipales se considera que el 43% de los residuos son quemados, mientras que el 57% restante solo se descompone. Estas fracciones corresponden a que se asume que un 57% de los residuos corresponde a materia orgánica y 43% a materia no orgánica.

7.1.2. Aspectos metodológicos del sector

El cálculo de las emisiones se realizó con una estimación simple, considerando el nivel de actividad y el factor de emisión acorde al tipo de residuo. A continuación, se presenta la ecuación utilizada.

Ecuación 13. Emisiones de CN producto de la incineración de residuos

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (toneladas de residuos).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t de residuos).
- i: Actividad.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

7.1.2.1. Datos de actividad

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones corresponden a los del INGEI, serie 1990 – 2018.

7.1.2.2. Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de CN se considera la fracción de este dentro de las emisiones de partículas, excepto para las emisiones proveniente de los crematorios, para lo que se cuenta con un factor directo de CN. Los factores de emisión utilizadas en la estimación de emisiones del sector Residuos se presentan a continuación.

Tabla 26. Factores de emisión para el sector Residuos.

Categoría	Actividad	kg (MP _{2,5}) / t (residuos)	% CN	Kg (CN) / t (residuos)	Referencia
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	Residuos hospitalarios	17,00*	2,3%	0,39	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.1.b.iii, Table 3-1)
	Crematorios			0,000002	3IBA
	Residuos industriales	0,004	3,5%	0,000140	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.1.b, Table 3-1)
	Residuos municipales	4,2	42%	2	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.2, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

*Se consideran el factor de emisión para el Total de Partículas Suspendidas (TSP, por su sigla en inglés)

8. RECÁLCULOS

Al igual que el INGEI, la actualización del inventario es esencial para la mejora de este mismo. En esta segunda versión se actualizaron las emisiones de toda la serie, con un gran cambio en las emisiones del sector Energía. Es por esto que es necesario evidenciar las diferencias que conlleva la actualización del inventario con su versión anterior. A continuación, se presentan las diferencias obtenidas entre ambas versiones y su justificación.

8.1. Recálculos en el INCN de Chile

El actual INCN fue elaborado en base a una metodología adecuada a estimación de emisiones de CN y en línea con el INGEI de Chile. La antigua versión del INCN fue elaborada en base a factores de emisión por defectos para CN y también fue elaborado en línea con el INGEI. En la actual versión, la calidad y cantidad de información permitió diferenciar tecnologías en las diferentes categorías del inventario, particularmente en el sector Energía, lo que permitió, en algunos casos estimar emisiones con una metodología Tier 2 o mayor. Por su parte, INCN anterior, solo consideraba combustibles por categoría y un factor de emisión por defecto. Estas diferencias metodológicas, sumado a los cambios en los niveles de actividad, dan resultado en grandes diferencias en los últimos años del inventario. A continuación, se presentan las diferencias para algunos años de la serie.

Tabla 27. Recálculos: Comparación de las emisiones de CN (kt) del INCN 4IBA (serie 1990-2018) e INCN 3IBA (serie 1990-2016)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018
INCN 3IBA	11,34	14,16	13,73	19,32	19,48		
INCN 4IBA	11,05	13,20	13,66	14,66	15,67	27,83	15,30
Diferencia	-0,29	-0,96	-0,07	-4,66	-3,81		

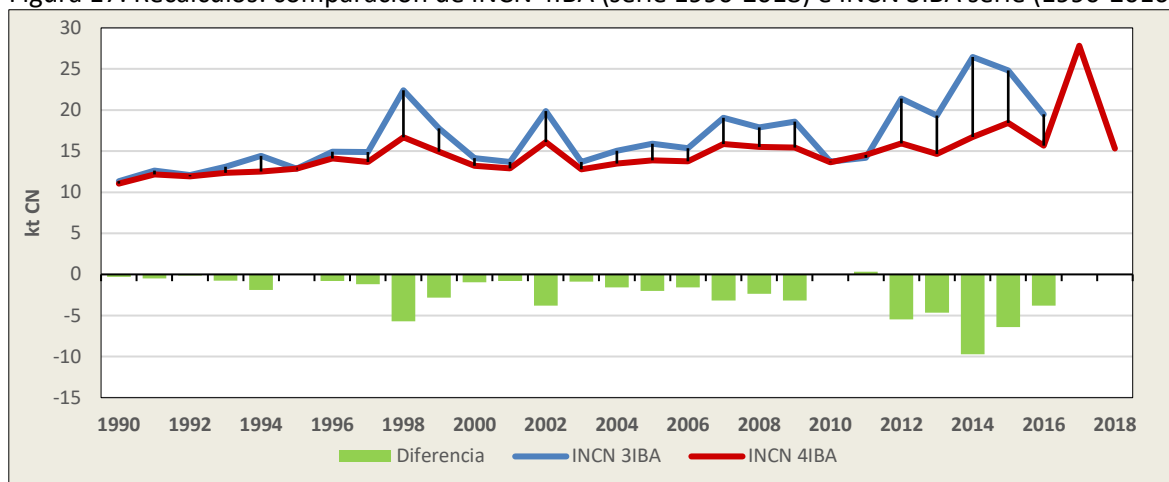
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Considerando la serie completa, se ve que las estimaciones difieren mayormente al final de la serie, con un máximo en las diferencias en el año 2014, alcanzando las 9,7 kt de CN. Por otra parte, al comienzo del periodo no se ve una diferencia considerable entre ambas estimaciones.

Ambas diferencias se explican, en parte por las diferencias metodológicas en la estimación de emisiones. Por una parte, la actual versión del INCN considera las emisiones producto de la MFR, lo que aumenta considerablemente las estimaciones del inventario, a diferencia del inventario anterior, el cual no las incluye. Por otra parte, el INCN anterior no diferencia entre los procesos industriales, por lo que las emisiones de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción no diferencia entre las emisiones producto de procesos y autoproducción, lo que aumentaría las emisiones según lo considerado en este inventario.

Respecto del final del periodo, la estimación de emisiones producto del transporte en el INCN anterior no diferencia entre normativas vehiculares, por lo que las emisiones del Transporte terrestre solo aumentan, a diferencia de la actual versión, la cual si las considera. Estas diferencias metodológicas explican en gran parte, las grandes diferencias que existen entre ambas estimaciones.

Figura 17. Recálculos: comparación de INCN 4IBA (serie 1990-2018) e INCN 3IBA serie (1990-2016)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

9.1. Resumen

En el documento se presenta la segunda versión del INCN de Chile, este fue elaborado en línea con el INGEI de Chile, considerando los mismos niveles de actividad y separación sectorial. El inventario fue elaborado con a una metodología adecuada para la estimación de emisiones de CN, demostrando grandes avances en el sector Energía, particularmente en las categorías Industrias manufactureras y de la construcción, y Transporte.

Por una parte, en la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se consideraron las emisiones producto de las maquinarias de las diferentes actividades industriales y mineras, además de incluir las emisiones producto de las maquinarias de la gran minería del cobre. También se diferenciaron los consumos energéticos producto de la autoproducción de energía, en donde los se restaron estos consumos y se incluyeron en la categoría Industrias de la energía. Esta diferenciación tiene grandes impactos en las emisiones de CN, donde las emisiones producto de la generación de energía son mucho menores a las emisiones producto de otros procesos, especialmente en las emisiones por uso de leña en la categoría Pulpa, papel e imprenta.

Por otra parte, las emisiones producto del Transporte terrestre fueron estimadas diferenciando entre diferentes normativas vehiculares. Esta estimación se realizó en base a un parque estimado para toda la serie y el calendario normativo oficial de entrada en vigencia de las normativas. Se diferenció entre las emisiones por normativa de los vehículos tipo bus, camión, camión ligero y automóvil. Gracias a la metodología utilizada es posible ver una disminución en las emisiones de CN a medida que el parque y el consumo energético del transporte aumentan.

9.2. Plan de mejora continua

Para la mejora del siguiente inventario se ha elaborado una lista de recomendaciones para tomar en cuenta en la siguiente edición del INCN de Chile. Debido a que la mayoría de las emisiones provienen del sector Energía, se considera que el siguiente inventario debe poner esfuerzos en dicho sector. A continuación, se presentan algunas recomendaciones para la elaboración del siguiente inventario según categorías.

9.2.1. Industrias de la energía (1.A.1.)

La estimación de emisiones realizada en este inventario es consistente con otros resultados en base a los niveles obtenidos de CN. En la estimación de emisiones se usan factores de emisión en base a literatura internacional, más precisamente, de las guías de EMEP/EEA del 2019, en donde los factores de emisión son bajos en cuanto a la emisión de CN. Estos factores consideran operaciones idealizadas de los procesos involucrados en la emisión de partículas, considerando altas temperaturas en el proceso y sistemas de abatimiento. Considerando esto se recomiendan considerar los siguientes puntos en la siguiente elaboración.

- Recopilar información de los sistemas de abatimiento que tienen las diferentes centrales de generación del país.
- Evaluar el impacto que tiene la normativa de termoeléctricas sobre las emisiones de CN.
- Evaluar si la composición del combustible (cantidad de azufre) impacta en las emisiones de CN.

9.2.2. Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.)

El sector industrial y minero fue el más importante de esta edición del INCN. Esto se debe, en parte, a la inclusión de las emisiones de la MFR dentro la categoría. Por otra parte, también las emisiones producto de la categoría Pulpa, papel e imprenta representan una gran parte de las emisiones de esta categoría, a pesar de que parte de los consumos energéticos fueron asignados a las Industrias de la energía. Según esto, se recomiendan los siguientes puntos para la elaboración del siguiente inventario.

- Si bien se incluye la MFR como emisiones del sector, en base a una metodología válida, es necesario mejorar los niveles de actividad utilizados en la estimación, particularmente, la cantidad de combustible, por categoría, utilizado en MFR.
- La estimación del parque fue realizada en base a la información disponible sobre MFR, sin embargo, este fue estimado de manera simple, por lo que puede no ser representativo de los primeros años de la serie. Es necesario contar con un parque de MFR para los primeros años de la serie.
- Se consideran las emisiones de MFR de la gran minería del cobre como parte de la MFR. Estas emisiones fueron estimadas en base a un criterio de experto, el cual define cuanto combustible, en porcentaje, se utiliza en maquinarias en la gran minería del cobre, basándose en la estimación de los consumos porcentuales de los últimos años de la serie. Este porcentaje se utiliza para toda la serie, sin diferenciar la partición de combustible utilizado en los primeros y últimos años de la serie. Considerando esto, es necesario contar con un número para toda la serie, que diferencie la actividad de MFR en la gran minería del cobre segundo los años que comprenden la serie.

- Los consumos considerados como autoproducción y su vez considerados dentro las Industrias de la energía disminuyen sustantivamente las emisiones de CN, debido a que los factores considerados en la producción de energía son mucho menores a los considerados por procesos. Esta diferencia se debe, mayormente, a que los procesos de alta producción de energía normalmente esta controlados o tienen controles de emisiones de partículas. Para estimar de forma correcta el impacto de esto, es necesario contar con información de sistemas de abatimiento que utilicen las empresas que producen energía como subproducto. Este supuesto es importante para las industrias de la categoría Pulpa, papel e imprenta.

9.2.3. Transporte (1.A.3.)

Las emisiones del Transporte son las que presentan un mayor detalle en la estimación de emisiones. Estas consideran una serie de parámetros que sirven para diferenciar las emisiones según normativas vehiculares. Considerando esto y la estimación realizada en este inventario, se dejan las siguientes recomendaciones.

- Mejorar estimación del parque, en particular, definir mejor las categorías buses y camiones, las cuales presentan vehículos a gasolina, algo que sería incorrecto.
- Mejorar estimación de los consumos por vehículos catalíticos y no catalíticos, considerando el calendario normativo oficial.
- Considerar factores de emisión local.

9.2.4. Otros sectores (1.A.4.)

La categoría Otros sectores es la segunda mayor emisora de CN. Esto se debe principalmente a que en esta categoría se consideran las emisiones por quema de biomasa en las viviendas del país. Chile presenta grandes problemas en cuanto a calidad del aire en las ciudades del sur del país, en donde se han implementado diferentes medidas que ayudan a disminuir estos problemas, entre ellas, los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA). Los PDA consideran una serie de parámetros que sirven para tener una mejor estimación de las emisiones de partículas finas provenientes de la quema de leña, diferenciando tecnologías y tipo de combustible, sin embargo, estos parámetros son fijos para un año, lo que hace difícil evaluar en retrospectiva con dichos parámetros. Por su parte, el INCN considera factores por defecto para la estimación de emisiones de CN producto de la quema de leña, principalmente por la falta de información para los primeros años de la serie. Considerando todo esto, se dejan las siguientes recomendaciones.

- Estimar parque de artefactos de leña para toda la serie.
- Debido a la gran variabilidad de los factores de emisión se considera necesario actualizar los factores de emisión a unos más representativos de la realidad de Chile.
- Evaluar la diferencia en el tipo de leña (especie y humedad) en las emisiones de CN.

10. REFERENCIAS

- Bond, T. C. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research*, 109(D14), D14203. <https://doi.org/10.1029/2003JD003697>
- Bond TC, Doherty SJ, Fahey DW, Forster PM, Berntsen T, Deangelo BJ, Flanner MG, Ghan S, Kärcher B, Koch D, et al. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *J Geophys Res Atmos* **118**(11): 5380–5552. doi: 10.1002/jgrd.50171
- Boucher O, Randall D, Artaxo P, Bretherton C, Feingold G, Forster P, Kerminen V-M, Kondo Y, Liao H, Lohmann U, et al. 2013. Clouds and aerosols. In: Intergovernmental Panel on Climate Change, editor. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 571–658. doi: 10.1017/CBO9781107415324.016
- EMEP/EEA. 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. doi:10.2800/293657
- Gallardo, L., Basoa, K., Tolvett, S., Osses, M., Huneus, N., Bustos, S., Barraza, J., Ogaz, G. (editores) (2020), Mitigación de carbono negro en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de Chile: Informe extendido y anexos. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia para el Ministerio del Medio Ambiente a través de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la iniciativa Supporting National Action and Planning on Short-Lived Climate Pollutants (SNAP), 116 pp. Disponible en: <http://www.cr2.cl/carbononegro/>
- GEASUR: Análisis técnico económico de la aplicación de una nueva norma de emisión para motores de maquinaria fuera de ruta a nivel país. [en línea] Available from: http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/14._Antecedentes_economicos.pdf, 2014.
- Huneus N, Urquiza A, Gayó E, Osses M, Arriagada R, Valdés M, Álamos N, Amigo C, Arrieta D, Basoa K, et al. 2020. El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. Available at www.cr2.cl/contaminacion/
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to*. *One Earth* **1**(3): 374–381. doi: 10.1016/j.oneear.2019.10.025
- Kirrane EF, Luben TJ, Benson A, Owens EO, Sacks JD, Dutton SJ, Madden M, Nichols JL. 2019. A systematic review of cardiovascular responses associated with ambient black carbon and fine particulate matter. *Environ Int* **127**(February): 305–316. Elsevier. doi: 10.1016/j.envint.2019.02.027
- Ministerio del Medio Ambiente: ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL ANTEPROYECTO NORMA DE EMISIÓN PARA MAQUINARIA MÓVIL FUERA DE RUTA., 2016.
- Rowe PM, Cordero RR, Warren SG, Stewart E, Doherty SJ, Pankow A, Schrempf M, Casassa G, Carrasco J, Pizarro J, et al. 2019. Black carbon and other light-absorbing impurities in snow in the Chilean Andes. *Sci Rep* **9**(1): 4008. doi: 10.1038/s41598-019-39312-0
- WHO. 2018. *World Health Statistics 2018: Monitoring Health for the SDGs, Sustainable Development Goals*. Available at <https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/world-health-statistic-reports/6-june-18108-world-health-statistics-2018.pdf>.