

# INVENTARIO NACIONAL DE CONTAMINANTES CRITERIO DEL AIRE Y CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA (CCVC) – 2010



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



BICENTENARIO  
DEL PERÚ  
2021 - 2024

**INVENTARIO NACIONAL  
DE CONTAMINANTES  
CRITERIO DEL AIRE  
Y CONTAMINANTES  
CLIMÁTICOS DE VIDA  
CORTA (CCVC) – 2010**

Inventario Nacional de Contaminantes Criterio del Aire Y Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) – 2010

Preparado por:

Ministerio del Ambiente  
Viceministerio de Gestión Ambiental  
Dirección General de Calidad Ambiental  
Dirección de Calidad Ambiental y Ecoeficiencia

Diciembre, 2021

Editado por:

© Ministerio del Ambiente  
Viceministerio de Gestión Ambiental  
Dirección General de Calidad Ambiental  
Dirección de Calidad Ambiental y Ecoeficiencia

Ministerio del Ambiente - MINAM  
Av. Antonio Miroquesada 425, Magdalena del Mar, Lima, Perú  
Teléfono: +(51) 611 6000

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n° 2023-03137  
Primera edición, diciembre de 2021

Imágenes: © Ministerio del Ambiente / @Ministro de Energía y Minas / Shutterstock

Cita sugerida:

Ministerio del Ambiente (2021).

“Inventario Nacional de Contaminantes Criterio del Aire Y Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) – 2010”. Lima

La elaboración de este documento se realizó con el apoyo de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC), a través de su iniciativa SNAP (Soporte en la Planificación de Acción Nacional).

# ÍNDICE

<b>1. Contexto</b> .....	10
1.1 Introducción.....	11
<b>2. Inventario nacional de contaminantes del aire y Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) del 2010</b> .....	13
2.1 Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC).....	14
2.2 Contaminantes Criterio del Aire.....	16
2.3 Metodología general.....	17
2.4 Metodología específica por fuente de emisión.....	22
2.4.1 Energía.....	23
2.4.2 Procesos industriales.....	39
2.4.3 Agricultura y quema.....	42
2.4.4 Desechos.....	48
<b>3. Resultados de emisiones de CCVC y contaminantes criterio</b> .....	51
3.1 Resumen del inventario nacional.....	52
3.2 Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por categoría.....	56
3.2.1 Energía.....	56
3.2.2 Procesos Industriales.....	63
3.2.3 Agricultura y quema.....	67
3.2.4 Desechos.....	70
<b>4. Conclusiones</b> .....	71
<b>5. Bibliografía</b> .....	73
<b>6. Anexos</b> .....	78
6.1 Nivel de actividad y factores de emisión.....	79
6.1.1 Energía.....	79
6.1.2 Procesos industriales.....	92
6.1.3 Agricultura y quema.....	93
6.2 Propiedades de los combustibles.....	95
6.3 Proceso de consulta y revisión del inventario.....	96
6.3.1 Proceso continuo de consulta.....	96
6.3.2 Revisión de resultados preliminares con actores nacionales.....	96
6.3.3 Revisión de resultados preliminares con especialistas nacionales e internacionales.....	97
6.4 Información adicional.....	98

# FICHAS

## Ficha 1.

Ficha resumen de metodología:  
Generación de energía eléctrica 23

---

## Ficha 2

Ficha resumen de metodología:  
Refinación de petróleo 24

---

## Ficha 3.

Ficha resumen de metodología:  
Producción de combustibles sólidos y otras  
industrias de la energía 25

---

## Ficha 4.

Ficha resumen de metodología:  
Ladrilleras artesanales e industriales 28

---

## Ficha 5.

Ficha resumen de metodología:  
Sector minero metalúrgico, otras industrias  
(excluyendo industria ladrillera) 29

---

## Ficha 6.

Ficha resumen de metodología:  
Transporte terrestre 32

---

## Ficha 7.

Ficha resumen de metodología:  
Transporte aéreo, ferroviario y navegación  
fluvial, lacustre y marítima 33

---

## Ficha 8.

Ficha resumen de metodología:  
Sector residencial 35

---

## Ficha 9.

Ficha resumen de metodología:  
Sectores público/comercial y  
agricultura/pesca 36

---

## Ficha 10.

Ficha resumen de metodología:  
Emisiones fugitivas, petróleo y gas natural 37

---

## Ficha 11.

Ficha resumen de metodología:  
Procesos industriales 40

---

## Ficha 12:

Ficha resumen de metodología:  
Quema de residuos agrícolas 42

---

## Ficha 13:

Ficha resumen de metodología:  
Quema de pastizales 43

---

## Ficha 14:

Ficha resumen de metodología:  
Quema de bosques 45

---

## Ficha 15:

Ficha resumen de metodología: Quema a cielo  
abierto 47

---

# TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tiempo de vida de los CCVC	14	<b>Tabla 8.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio en la industria ladrillera, por tipo de horno, en Gg	58
<b>Tabla 2.</b> Categorías y subcategorías de fuentes de emisión de CCV y contaminantes criterio, y nivel de cálculo utilizado	17	<b>Tabla 9.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por tipo de combustible, en Gg	59
<b>Tabla 3.</b> Producción de ladrillos (año 2010) y consumo específico de energía por tipo de horno	27	<b>Tabla 10.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por categoría vehicular, en Gg	59
<b>Tabla 4.</b> Factores de corrección de los factores de emisión para diésel	31	<b>Tabla 11.</b> Emisiones de NOx en Gg, por tipo de tecnología	60
<b>Tabla 5.</b> Segmentos de la industria del petróleo y gas natural con sus datos de actividad y contaminantes emitidos	36	<b>Tabla 12.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio en el sector residencial, en Gg	60
<b>Tabla 6.</b> Nivel de actividad en diferentes industrias	38	<b>Tabla 13.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio, por tipo de industria, en Gg	61
<b>Tabla 7.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por fuente de emisión a nivel nacional, año 2010	48	<b>Tabla 14.</b> Emisiones de CCVC y contaminantes criterio, sector desechos, en Gg	69

# TABLAS

## Tabla 15.

Demanda de combustible (TJ) en el año 2010 y factores de emisión en el sector energético (kg/TJ), a excepción de transporte terrestre, industria ladrillera y el sector residencial 75

---

## Tabla 16.

Factores de emisión en la industria ladrillera, en kg/TJ 81

---

## Tabla 17.

Número de vehículo por categoría vehicular, año 2010 82

---

## Tabla 18.

Distribución de consumo de combustible por categoría vehicular 83

---

## Tabla 19.

Kilometraje anual por categoría vehicular y tipo de combustible 83

---

## Tabla 20.

Factores de emisión por consumo de diésel, por categoría vehicular y euro standard 85

---

## Tabla 21.

Factores de emisión (g/km) por consumo de gasolina, GNV y GLP, por categoría vehicular y euro standard. 86

## Tabla 22.

Demanda de combustible (TJ) en el año 2010 y factores de emisión en el sector residencial (g de contaminante/kg de combustible, a menos que se especifique lo contrario en las notas). 87

---

## Tabla 23.

Emisiones fugitivas de los combustibles, nivel de actividad y factores de emisión 88

---

## Tabla 24.

Producción y factores de emisión en el sector industrial por el uso no energético de los combustibles 90

---

## Tabla 25.

Nivel de actividad (producción de cultivos año 2010) y factores de emisión (kg/t), en la quema de residuos agrícolas 92

---

## Tabla 26.

Factores de emisión por la quema de bosques y pastizales, en kg/t 94

---

## Tabla 27.

Propiedades de los combustibles 95

# LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

## **AAP**

Asociación Automotriz del Perú

---

## **AP-42**

Recopilación de factores de emisión de contaminantes del aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

---

## **Asocem**

Asociación de Productores de Cemento

---

## **BAU**

“Business as Usual” (todo sigue igual), por sus siglas en inglés

---

## **BREF**

Documentos de Referencia de Mejores Técnicas disponibles en la industria, de la Unión Europea.

---

## **CCAC**

Coalición Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes Climáticos de Corta Vida

---

## **Ceplan**

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico

---

## **Cidatt**

Centro de Investigación y de Asesoría del Transporte Terrestre

---

## **CMNUCC**

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

## **COPD**

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica, por sus siglas en inglés

---

## **Cosude**

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

---

## **DGCCD**

Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del MINAM

---

## **DGCA**

Dirección General de Calidad Ambiental del MINAM

---

## **DGEE**

Dirección General de Eficiencia Energética del Minem

---

## **DGRS**

Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos del MINAM

---

## **Digesa**

Dirección General de Salud Ambiental del Minsa

---

## **EELA**

Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales, ejecutado por Swisscontact

---

## **ENCC**

Estrategia Nacional de Cambio Climático

## **FAO**

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

---

## **FE**

Factor de emisión

---

## **GIZ**

Corporación Alemana para la Cooperación Internacional

---

## **GLP**

Gas Licuado de Petróleo

---

## **GNV**

Gas Natural Vehicular

---

## **GPC**

Generación per cápita

---

## **IGSD**

Instituto para la Gobernanza y el Desarrollo Sostenible, por sus siglas en inglés

---

## **IICA**

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

---

## **iNDC**

Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional

---

## **INEI**

Instituto Nacional de Estadística e Informática

**Ingei**

Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

---

**IPCC**

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés

---

**IRAB**

Infecciones Respiratorias Agudas Bajas

---

**Iuappa**

Unión Internacional para la Prevención de la Contaminación del Aire y Asociaciones de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés

---

**MCE2**

Centro Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente

---

**MDL**

Mecanismo de Desarrollo Limpio

---

**MEF**

Ministerio de Economía y Finanzas del Perú

---

**Midagri**

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú

---

**MINAM**

Ministerio del Ambiente del Perú

---

**Minem**

Ministerio de Energía y Minas de Perú

---

**MRV**

Medición, Reporte y Verificación

**MTC**

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú

---

**MVCS**

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú

---

**NAMA**

Acciones de Mitigación Apropriadas a cada país, por sus siglas en inglés

---

**NDC**

Contribución Determinada a Nivel Nacional

---

**ODS**

Objetivos de Desarrollo Sostenible

---

**PBI**

Producto Bruto Interno

---

**Plan CC**

Proyecto de Planificación ante el Cambio Climático

---

**Planaa**

Plan Nacional de Acción Ambiental

---

**PRAL**

Programa Regional de Aire Limpio, financiado por Cosude

---

**Produce**

Ministerio de la Producción del Perú

---

**UNEP- Rolac**

Oficina de América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, por sus siglas en inglés.

**RSM**

Residuos Sólidos Municipales

---

**SA**

Standard Adult (adulto estándar)

---

**SEI**

Stockholm Environment Institute (Instituto Ambiental de Estocolmo)

---

**SEIN**

Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

---

**Serfor**

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre

---

**SNAP**

Soporte en la planificación de acción nacional, por sus siglas en inglés

---

**Sunass**

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

---

**Uscuss**

Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura

---

**USDA**

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés

---

**EPA**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, por sus siglas en inglés.

# LISTA DE CONTAMINANTES Y DE UNIDADES

## CONTAMINANTES

### BC

Black Carbon (Carbono Negro)

### CCVC

Contaminantes Climáticos de Vida Corta

### CH<sub>4</sub>

Metano

### CO

Monóxido de carbono

### CO<sub>2</sub>

Dióxido de carbono

### CO<sub>2eq</sub>

Dióxido de carbono equivalente

### COVNM

Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos

### GEI

Gases de Efecto Invernadero

### HFC

Hidrofluorocarbono

### NO

Óxido de nitrógeno

### N<sub>2</sub>O

Óxido nitroso

### NO<sub>2</sub>

Dióxido de nitrógeno

### NO<sub>x</sub>

Óxidos de nitrógeno

### O<sub>3</sub>

Ozono troposférico

### PM<sub>2,5</sub>

Material particulado con un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras.

### PM<sub>10</sub>

Material particulado con un diámetro aerodinámico menor a 10 micras.

### SO<sub>2</sub>

Dióxido de azufre

### SO<sub>x</sub>

Óxidos de azufre

## UNIDADES

### MJ

Megajoule

### TJ

Terajoule

### TEP

Tonelada Equivalente de Petróleo

### T

Tonelada métrica

### Kg

Kilogramo

### Gg

Gigagramos

### Ha

Hectárea

### m<sup>3</sup>

Metro cúbico

### Km

Kilómetro

1

**CONTEXTO**

# 1.1

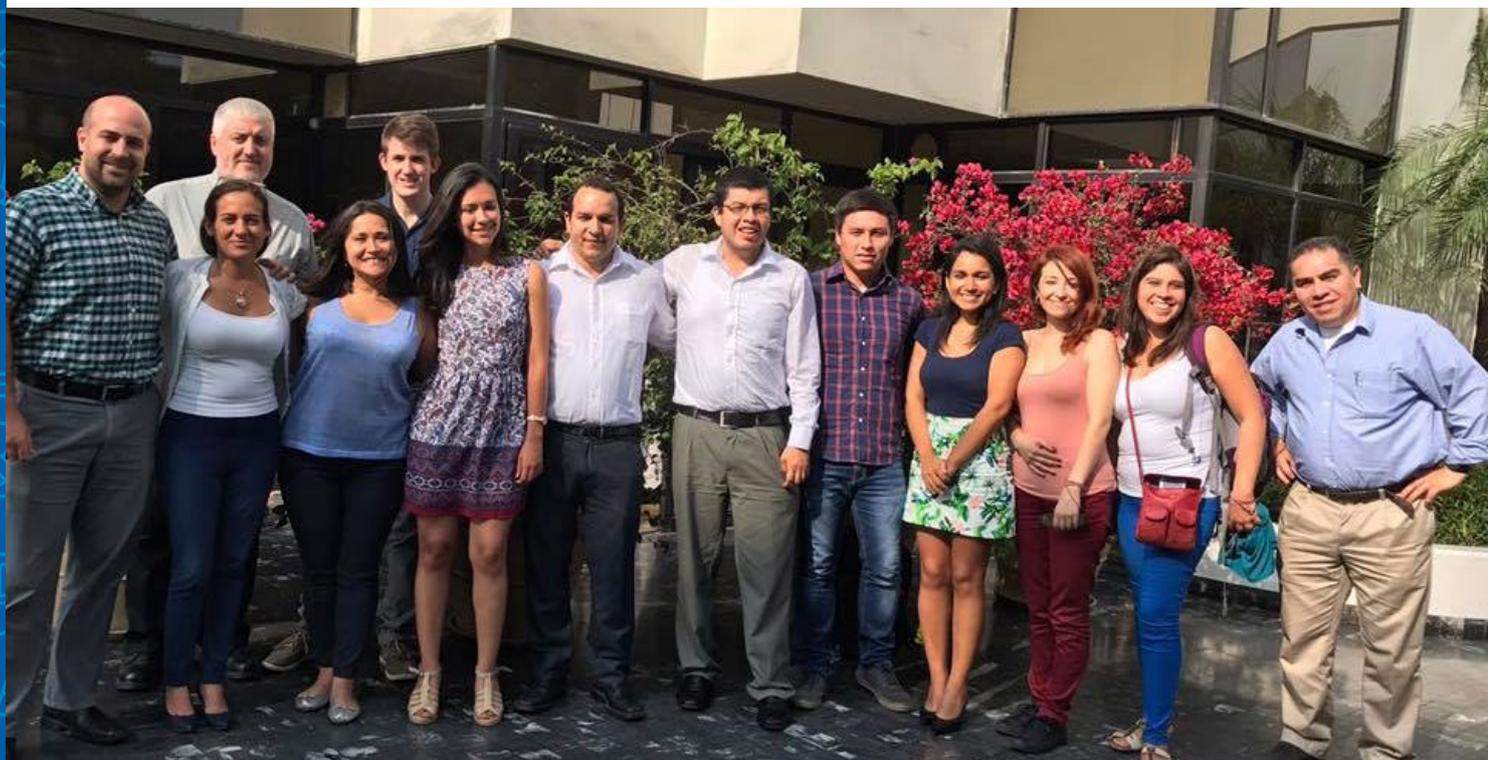
## INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una de las principales causas de afectación a la salud, ambiente y economía. En términos de salud, cada año se atribuyen alrededor de ocho millones de muertes prematuras por la contaminación del aire en el mundo (ONU Medio Ambiente, 2016). Solo en América Latina y el Caribe se producen 58 mil muertes al año a causa de la contaminación del aire en exteriores y 81 mil muertes al año a causa de la contaminación del aire en interiores (Ibid, 2016). Con respecto a los impactos económicos, en América Latina y el Caribe se pierde 9,5 % de las cosechas al año a causa de la contaminación del aire, y se estima que el ozono troposférico ( $O_3$ ) ha sido responsable de 7,4 millones de toneladas en pérdidas de rendimiento de la soya, el maíz, el trigo y el arroz (CCAC, 2016).

Este reporte está focalizado en los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), que son sustancias con un efecto de calentamiento climático a corto plazo y

efectos negativos sobre la salud pública, la seguridad alimentaria y energética. Los CCVC reciben este nombre por su tiempo de vida relativamente corto en la atmósfera, que oscila desde algunos días, para el caso de aerosoles, hasta alrededor de una década, para el caso de los gases con mayor permanencia.

Por el contrario, el  $CO_2$  tiene una larga duración, por lo que la mayoría de los beneficios climáticos tardarán décadas en notarse una vez implementadas las medidas de mitigación. Sin embargo, suponiendo que se lleva a cabo la reducción de los CCVC, el calentamiento a largo plazo estará determinado esencialmente por las emisiones acumulativas totales de  $CO_2$ , y serán efectivamente irreversibles en escalas de tiempo humanas de no controlarse las emisiones de carbono (CCAC, 2016). El corto tiempo que los CCVC permanecen en la atmósfera significa que, si se reducen las emisiones de CCVC, sus concentraciones



atmosféricas disminuirán en cuestión de semanas o años, con un efecto notable en la temperatura global durante las décadas siguientes (CCAC, 2016).

Los principales CCVC son el carbono negro (BC por sus siglas en inglés), el metano (CH<sub>4</sub>), el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y los hidrofluorocarbonos (HFC). Adicionalmente a estos contaminantes, este reporte se focalizó en otros contaminantes del aire, específicamente los contaminantes criterio, que son sustancias químicas utilizadas como criterio para determinar si el aire está contaminado; la exposición a éstos puede tener efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Los contaminantes criterio son: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), monóxido de carbono (CO) y compuestos Orgánicos Volátiles No Metálicos (COVNM)<sup>1</sup>. Por la importancia de estos contaminantes, se incluyen en el inventario conjuntamente con los CCVC.

Este documento presenta el primer inventario de emisiones de contaminantes del aire y contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), como el carbono negro, para el año base 2010. Ello constituye un primer paso hacia la formulación y ejecución de medidas concretas para reducir los CCVC. Este documento forma parte del compromiso del Perú con la reducción de las emisiones de CCVC con apoyo de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC), de la cual el Perú es miembro desde el año 2013. La CCAC reduce los CCVC enfocándose en acciones concretas a través de once iniciativas<sup>2</sup>, tiene de las cuales representan sectores altamente emisores y

cuatro son iniciativas transversales de soporte. Las iniciativas agrupan gobiernos nacionales, locales, ONG y sector privado apoyando acciones específicas para reducción de CCVC.

A través de la CCAC y su iniciativa SNAP (Soporte en la Planificación de Acción Nacional, por sus siglas en inglés), el Perú está recibiendo apoyo para la planificación nacional en acciones de reducción de CCVC. Asimismo, el proceso de planificación contribuye con el fortalecimiento de capacidades e incorporación de medidas dentro de las estrategias nacionales para disminuir las emisiones de CCVC, contribuyendo con el desarrollo sostenible del país. El soporte que recibe el Perú para esta planificación viene principalmente de cinco instituciones, el Stockholm Environment Institute (SEI), International Union of Air Pollution Prevention and Environmental Protection Associations (Iuappa), el Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment (MCE2), el Institute for Governance and Sustainable Development (IGSD) y la Oficina de América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP-ROLAC), siendo esta última la que apoya todo el proceso de implementación de actividades, así como el manejo de los recursos financieros para dicha implementación.

Es importante destacar que las medidas necesarias para reducir los CCVC forman parte del portafolio de diferentes estrategias, en línea con las acciones de mitigación del cambio climático y de mejora de la calidad del aire, contribuyendo a las metas nacionales y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

<sup>1</sup> Aunque los COVNM no son contaminantes criterio, han sido incluidos en el presente inventario debido a que juegan un papel importante en la formación de ozono troposférico.

<sup>2</sup> Divididas en siete iniciativas sectoriales de la CCAC: diésel, petróleo y gas, residuos, ladrilleras, HFC, energía doméstica, agricultura y tres iniciativas transversales de la CCAC: SNAP, finanzas, evaluaciones y salud.

# 2

## **INVENTARIO NACIONAL DE CONTAMINANTES DEL AIRE Y CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA (CCVC) DEL 2010**

Los inventarios de emisiones son una herramienta fundamental para la caracterización y cuantificación de los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos (masa por unidad de tiempo), permite identificar las principales fuentes de emisión a nivel nacional o local y el nivel de contaminación en un periodo de tiempo determinado. La cuantificación de contaminantes en un año de referencia sirve como base para la planeación de estrategias de gestión ambiental enfocadas en la prevención y mitigación de contaminantes y estimar la eficiencia/eficacia de planes, programas, proyectos, entre otras.

## 2.1 CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA (CCVC)

Los CCVC son sustancias con un efecto de calentamiento climático a corto plazo y efectos negativos sobre la salud pública, la seguridad alimentaria y económica<sup>1</sup>. Los CCVC reciben este nombre debido a su tiempo de vida relativamente corto en la atmósfera que va desde algunos días hasta una década, en comparación con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) cuyo tiempo de vida en la atmósfera puede variar de cientos a miles de años<sup>2</sup>. Aunque el CO<sub>2</sub> es el Gas de Efecto Invernadero más emitido a nivel mundial y tiene una mayor concentración en la atmósfera<sup>3</sup>, los CCVC tienen un potencial de calentamiento mayor y debido a su corto tiempo de vida en la atmósfera, desempeñan un papel importante en la desaceleración de la tasa de calentamiento global y sus beneficios se pueden manifestar en el corto plazo. Las acciones generalizadas para reducir las emisiones de CCVC tienen el potencial de disminuir la cantidad de calentamiento que se produciría en las próximas décadas hasta en 0.6 °C. Combinando las medidas de CCVC con las medidas de CO<sub>2</sub>, es posible lograr el objetivo de mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2 °C, de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo de París<sup>4</sup>.

Los principales CCVC son:

### → CARBONO NEGRO (BC, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS):

Es el principal componente del hollín, producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles, leña y otra biomasa. Es emitido en la fracción sólida del material particulado PM<sub>2,5</sub>, el contaminante del aire más importante en relación a sus efectos sobre la salud pública. El BC es considerado como forzador climático debido a su capacidad de absorber radiación solar, transformándola en forma de calor a la atmósfera, contribuyendo de manera significativa al forzamiento radiativo. Su impacto de calentamiento es 460-1500 veces superior al CO<sub>2</sub>; además puede modificar los patrones de precipitación a escala local y regional y aumentar el derretimiento de hielo y nieve al ocasionar

cambios en su albedo<sup>5</sup>. El BC se emite junto a otros co-contaminantes como el carbono orgánico y sulfatos, que pueden tener un efecto neutro o de enfriamiento del clima. Al ser un componente de material particulado, está asociado a muertes prematuras por enfermedades respiratorias y cerebrovasculares. La reducción en emisiones de BC puede generar beneficios inmediatos desde el punto de vista de calidad del aire, salud y cambio climático debido a que su vida media en la atmósfera es solo de algunos días<sup>6</sup>.

### → OZONO TROPOSFÉRICO (O3):

Es el ozono presente en la porción más baja de la atmósfera, entre 10-15 kilómetros sobre la superficie de la tierra. Es un gas de efecto invernadero y el mayor componente del smog fotoquímico urbano, por lo que es considerado contaminante del aire y contaminante climático; al ser inhalado puede exacerbar problemas de bronquitis, asma y enfisema, además de generar daños en el tejido pulmonar. Representa una amenaza para la seguridad alimentaria debido a que reduce la capacidad de las plantas para absorber CO<sub>2</sub> y realizar fotosíntesis, alterando su crecimiento y por lo tanto su productividad. El O<sub>3</sub> se forma en la atmósfera por la interacción de luz solar con otros contaminantes precursores como el CH<sub>4</sub>, CO, COVNM y NOx<sup>7</sup>. Al no ser emitido directamente, no es incluido en este inventario.

### → METANO (CH4):

Es un gas de efecto invernadero con un elevado potencial de calentamiento. Se considera también un CCVC debido a que su tiempo de vida promedio en la atmósfera es de doce años (relativamente corto comparado con el CO<sub>2</sub>). Se produce de forma natural por la descomposición de plantas o residuos animales en condiciones anaerobias, pero sus principales fuentes de emisión provienen de actividades humanas, como por ejemplo la explotación de minas de carbón, producción de petróleo y gas natural, disposición de residuos en rellenos sanitarios y actividades agrícolas. Aunque no tiene un impacto directo sobre la salud humana y los ecosistemas, es uno de los precursores principales de

<sup>1</sup> Why we need to act now (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/content/why-we-need-act-now>.

<sup>2</sup> IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-10-3.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-10-3.html).

<sup>3</sup> Global Greenhouse Gas Emissions Data. Recuperado de: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.

<sup>4</sup> Why we need to act now. Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/content/why-we-need-act-now>.

<sup>5</sup> Black Carbon (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/slcps/black-carbon>.

la formación de ozono en la tropósfera<sup>8</sup>, de modo que tiene un impacto indirecto sobre la salud y la vegetación.

No se han incluido cálculos relativos a las emisiones de CH<sub>4</sub> en este documento, en razón a que es la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del Ministerio del Ambiente la encargada de elaborar el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por el Perú, ante la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en cumplimiento con el Decreto Supremo n.º 013-2014-MINAM (Infocarbono)<sup>9</sup>.

#### → HIDROFLUOROCARBONOS (HFC):

Son gases sintéticos de efecto invernadero utilizados en refrigeración, solventes, agentes espumantes, aerosoles y protección contra incendios. Es considerado dentro del grupo de CCVC debido a que su tiempo promedio de vida en la atmósfera es de

quince años (relativamente corto en comparación con el CO<sub>2</sub>). Aunque representan una pequeña fracción de los gases de efecto invernadero totales, tienen un importante potencial de calentamiento. A ello se suma que su uso se ha ido incrementando en los últimos años, debido al aumento en la demanda de aires acondicionados y refrigerantes y que se han ido adoptando como remplazo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono<sup>10</sup>.

No se han incluido cálculos relativos a las emisiones de los HFC en este documento, en razón a que es el Ministerio de la Producción el cual se encuentra realizando dicho inventario a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI), en el marco de los compromisos asumidos por el Perú en el Protocolo de Montreal<sup>11</sup>.

En la siguiente tabla se presenta el tiempo de vida promedio en la atmósfera de los CCVC, en comparación con el CO<sub>2</sub>:

• Tabla 1 • Tiempo de vida de los CCVC

COMPUESTO	TIEMPO DE VIDA PROMEDIO EN LA ATMÓSFERA
Carbono Negro (BC)	3 - 8 días
Ozono troposférico (O <sub>3</sub> )	4 - 8 días
Metano (CH <sub>4</sub> )	12 años
Hidrofluorocarbonos (HFC)	15 años
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	100 – 1000 años <sup>12</sup>

<sup>8</sup> Primer Informe Bienal de Actualización ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México (2015); Black Carbon (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/slscps/black-carbon>.

<sup>9</sup> Tropospheric Ozone (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/slscps/tropospheric-ozone>.

<sup>10</sup> Methane (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/slscps/methane>.<sup>9</sup> En el Perú a través del Decreto Supremo n.º 013-2014-MINAM y Decreto Supremo n.º 002-2017-MINAM se establecen las disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Infocarbono).

<sup>11</sup> Hydrofluorocarbons (2017). Recuperado de: <http://ccacoalition.org/en/slscps/hydrofluorocarbons-hfc>.

<sup>12</sup> En el Perú a través de las Resoluciones Directorales n.º 022-2013, 101-2013, 265-2014, 604-2015 y 545-2016 se aprobaron las disposiciones para el cumplimiento del congelamiento de consumo de HFC para los años 2013-2014 y la reducción de 10 % del consumo de dichas sustancias en los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente. Además, el Ministerio de la Producción viene ejecutando el "Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) en Perú – PNH-".

<sup>13</sup> Hasta un 60 % del CO<sub>2</sub> puede durar aproximadamente cien años en la atmósfera, y hasta un 25 % puede durar más de mil años en la atmósfera. Fuente: Hora de actuar para reducir los contaminantes climáticos de vida corta (2015). Recuperado de: [www.ccacoalition.org/en/file/2569/download?token=pb-4IGjw](http://www.ccacoalition.org/en/file/2569/download?token=pb-4IGjw).

## 2.2

# CONTAMINANTES CRITERIO DEL AIRE

Los contaminantes criterio, como su nombre lo indica, son sustancias químicas que se utilizan como criterio para determinar si el aire está contaminado; hacen parte de la normativa ambiental de los países debido a que tienen efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente<sup>13</sup>. Los principales contaminantes criterio son:

### → DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>):

Proviene de la quema de combustibles fósiles con un alto contenido de azufre, de procesos industriales como extracción de metales y de fuentes naturales como erupciones volcánicas. La exposición a este contaminante puede exacerbar problemas respiratorios como asma y dificultad para respirar, especialmente en la población sensible (niños y adultos mayores)<sup>14</sup>.

### → ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOX):

Son altamente reactivos y se forman cuando la quema de un combustible se produce a altas temperaturas y/o cuando este contiene compuestos nitrogenados<sup>15</sup>. También pueden formarse naturalmente por descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastizales. La exposición a elevadas concentraciones de corta duración causa inflamación de las vías respiratorias. Además aumenta los síntomas de bronquitis en niños asmáticos, puede disminuir el desarrollo de la función pulmonar y causar edema pulmonar<sup>16</sup>.

### → MATERIAL PARTICULADO (PM10 Y PM2,5):

Es un término genérico para una amplia clase de sustancias química y físicamente diversas que existen como partículas discretas (gotas líquidas o sólidas) en una amplia gama de tamaños. El PM<sub>10</sub> (partículas gruesas torácicas) son las partículas con diámetro inferior o igual a 10 micrómetros y el PM<sub>2,5</sub> (partículas finas) son aquellas con diámetro menor o igual a 2,5 micrómetros. Todas las partículas en

estos rangos son inhalables y lo suficientemente pequeñas como para penetrar profundamente en los pulmones. Existe evidencia de complicaciones de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como muerte prematura por exposición a corto y largo plazo al PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>. Dicha evidencia es mayor por la exposición a PM<sub>2,5</sub> que también está asociado a disminución del crecimiento de la función pulmonar y exacerbación de síntomas alérgicos. Las partículas pueden emitirse directamente o formarse en la atmósfera mediante transformación de emisiones gaseosas. Las principales fuentes de emisión son procesos de combustión en fuentes estacionarias y móviles, así como procesos naturales (incendios forestales)<sup>17</sup>.

### → MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y por la descomposición incompleta de la materia orgánica. En altas concentraciones puede ser letal debido a que su alta afinidad con la hemoglobina reduce la cantidad de oxígeno que es transportado en la sangre hasta órganos vitales como cerebro y corazón<sup>18</sup>.

### → COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES NO METÁNICOS (COVNM):

Aunque los COVNM no son contaminantes criterio, han sido incluidos en el presente inventario debido a que juegan un papel importante en la formación de ozono troposférico, que además de ser contaminante climático de vida corta, es un contaminante criterio. Los COVNM son una colección de compuestos orgánicos (excluyendo el metano) que difieren ampliamente en su composición química, pero muestran un comportamiento similar en la atmósfera. Bajo condiciones normales se pueden evaporar y entrar a la atmósfera. Sus principales fuentes de emisión son la combustión, el uso de solventes orgánicos y procesos industriales<sup>19</sup>.

<sup>13</sup> National Ambient Air Quality Standards Table. Recuperado de: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.

<sup>14</sup> Environments and contaminants | Criteria Pollutants (2017). Sulphur dioxide. Recuperado de: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3\\_criteria\\_air\\_pollutants\\_updated\\_live\\_file.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3_criteria_air_pollutants_updated_live_file.pdf).

<sup>15</sup> Contaminación atmosférica (2008). Recuperado de: [http://www.lareserva.com/home/contaminacion\\_atmosferica](http://www.lareserva.com/home/contaminacion_atmosferica).

<sup>16</sup> Calidad del Aire Ambiente (exterior) y salud. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.

<sup>17</sup> Environments and contaminants | Criteria Pollutants (2017). Particulate Matter. Recuperado de: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3\\_criteria\\_air\\_pollutants\\_updated\\_live\\_file.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3_criteria_air_pollutants_updated_live_file.pdf).

<sup>18</sup> Environments and contaminants | Criteria Pollutants (2017). Carbon Monoxide. Recuperado de: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3\\_criteria\\_air\\_pollutants\\_updated\\_live\\_file.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-07/documents/ace3_criteria_air_pollutants_updated_live_file.pdf).

<sup>19</sup> Non-methane volatile organic compounds (NMVOC) emissions (2010). Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-non-methane-volatile-1>.

## 2.3

# METODOLOGÍA GENERAL

En esta sección se presenta la metodología general para la elaboración del inventario nacional de emisiones de contaminantes del aire y contaminantes climáticos de vida corta (CCVC). Los contaminantes analizados en este documento son:

- **Carbono negro (BC)**
- **Material Particulado menor a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ )**
- **Material Particulado menor a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ )**
- **Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )**
- **Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )**
- **Monóxido de carbono (CO)**
- **Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNM)**

El ámbito geográfico para el desarrollo del inventario es el territorio nacional, tomando como año base o de referencia el 2010, el mismo año que fuera utilizado como referencia para la evaluación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés).

El inventario de emisiones de contaminantes del aire y contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) por tipo de fuente de emisión se ha elaborado siguiendo las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) del año 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Aunque en el IPCC solo se presenta el método para estimar las emisiones de GEI, dicha metodología fue aplicada para los CCVC y contaminantes criterio debido su carácter genérico.

El abordaje metodológico más simple consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana (denominado *datos de actividad*) con

los coeficientes que cuantifican las emisiones o *Factores de Emisión* (FE). En algunos casos, la metodología general puede ser modificada para incluir parámetros de estimación diferente.

Las emisiones de transporte terrestre fueron estimadas siguiendo la Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA 2016, por sus siglas en inglés), debido al tipo y disponibilidad de información.

En las directrices, para realizar inventarios, existen diferentes niveles de cálculo que se pueden aplicar dependiendo de la disponibilidad y calidad de la información recopilada:

**Nivel 1:** es el método de cálculo más simple, se basa normalmente en consumo de combustibles y factores de emisión por defecto.

**Nivel 2:** utiliza el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero puede incluir factores de emisión específicos del país o información más detallada como tecnologías de combustión.

**Nivel 3:** es un enfoque más complejo y puede incluir el uso de modelos.

Al respecto, se recomienda seleccionar métodos de nivel superior más detallados para las categorías principales, sin embargo, la migración del Nivel 1 al Nivel 3 puede ser una tarea costosa por la complejidad de los modelos, poca disponibilidad de información detallada y análisis de los datos.

Debido al tipo y disponibilidad de información, en este inventario se utilizó el Nivel 1 de cálculo en casi todos los casos, a excepción de las emisiones del transporte terrestre que fueron calculadas usando un Nivel 2.

Las fuentes de emisión fueron divididas en cuatro categorías principales: Energía (incluye fuentes estacionarias, fuentes móviles y emisiones fugitivas), Procesos industriales, Agricultura y Quema y desechos. Dichas categorías se dividen a su vez en subcategorías.

Los niveles de cálculo utilizados en cada fuente de emisión (subcategorías), así como los contaminantes estimados se presentan en la siguiente tabla:

• Tabla 2 • Categorías y subcategorías de fuentes de emisión de CCV y contaminantes criterio, y nivel de cálculo utilizado

CATEGORÍA / SUBCATEGORÍA	CONTAMINANTES ESTIMADOS	NIVEL DE CÁLCULO
<b>ENERGÍA</b>		
<b>QUEMA DE COMBUSTIBLES</b>		
<b>INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA</b>		
Generación de energía eléctrica	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Refinación de petróleo	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Producción de combustibles sólidos y otras industrias de la energía (uso propio)	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN</b>		
Industria ladrillera	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Minero metalúrgico	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Otras industrias	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>TRANSPORTE</b>		
Transporte terrestre	BC, PM <sub>2,5</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 2
Transporte aéreo (nacional)	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Transporte ferroviario	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Transporte acuático	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Residencial	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Comercial y servicios públicos	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Agricultura y pesca	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>EMISIONES FUGITIVAS</b>		
Petróleo y gas natural	BC, NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>PROCESOS INDUSTRIALES</b>		
Industria de los minerales	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Industria química	PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Industria de los metales	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Otras industrias	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>AGRICULTURA Y QUEMA</b>		
Quema de residuos agrícolas	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Quema de pastizales	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
Quema de bosques	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1
<b>DESECHOS</b>		
Quema a cielo abierto	BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Nivel 1

Elaboración propia (2019).



Los *factores de emisión* fueron obtenidos de las directrices del IPCC 2006 y 1996, del EMEP/EEA 2016 y de la "Recopilación de factores de emisión de contaminantes del aire" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), denominado AP-42. Adicionalmente, se consultaron diferentes artículos científicos publicados en revistas internacionales. Los *datos de actividad* a nivel nacional han sido obtenidos de bases de datos, estadísticas oficiales y el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero Ingei 2010 (cuyos valores fueron actualizados el año 2014<sup>20</sup>)

Todas las variables (*factores de emisión* y *datos de actividad*) fueron ingresadas en el *software* "Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas, con Calculadora de Beneficios Integrada" (LEAP-IBC, por sus siglas en inglés), de esta forma se obtuvieron los resultados de emisiones de los diferentes contaminantes para el año 2010.

Respecto de la herramienta LEAP-IBC, esta fue desarrollada por el Instituto Ambiental de Estocolmo. Este *software* es ampliamente usado para el análisis de políticas energéticas y evaluación de la mitigación de cambio climático. Ha sido adoptado por miles de organizaciones en más de 190 países en todo el mundo, dentro de sus usuarios se encuentran agencias gubernamentales, académicos, organizaciones no gubernamentales, empresas de consultoría y proveedores de energía eléctrica.

LEAP es una herramienta integrada de modelación basada en escenarios, que puede ser utilizada para realizar un seguimiento del consumo de energía, producción y extracción de recursos en todos los sectores de la economía. Puede ser utilizado considerando el sector energético y no energético como fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y sumideros.

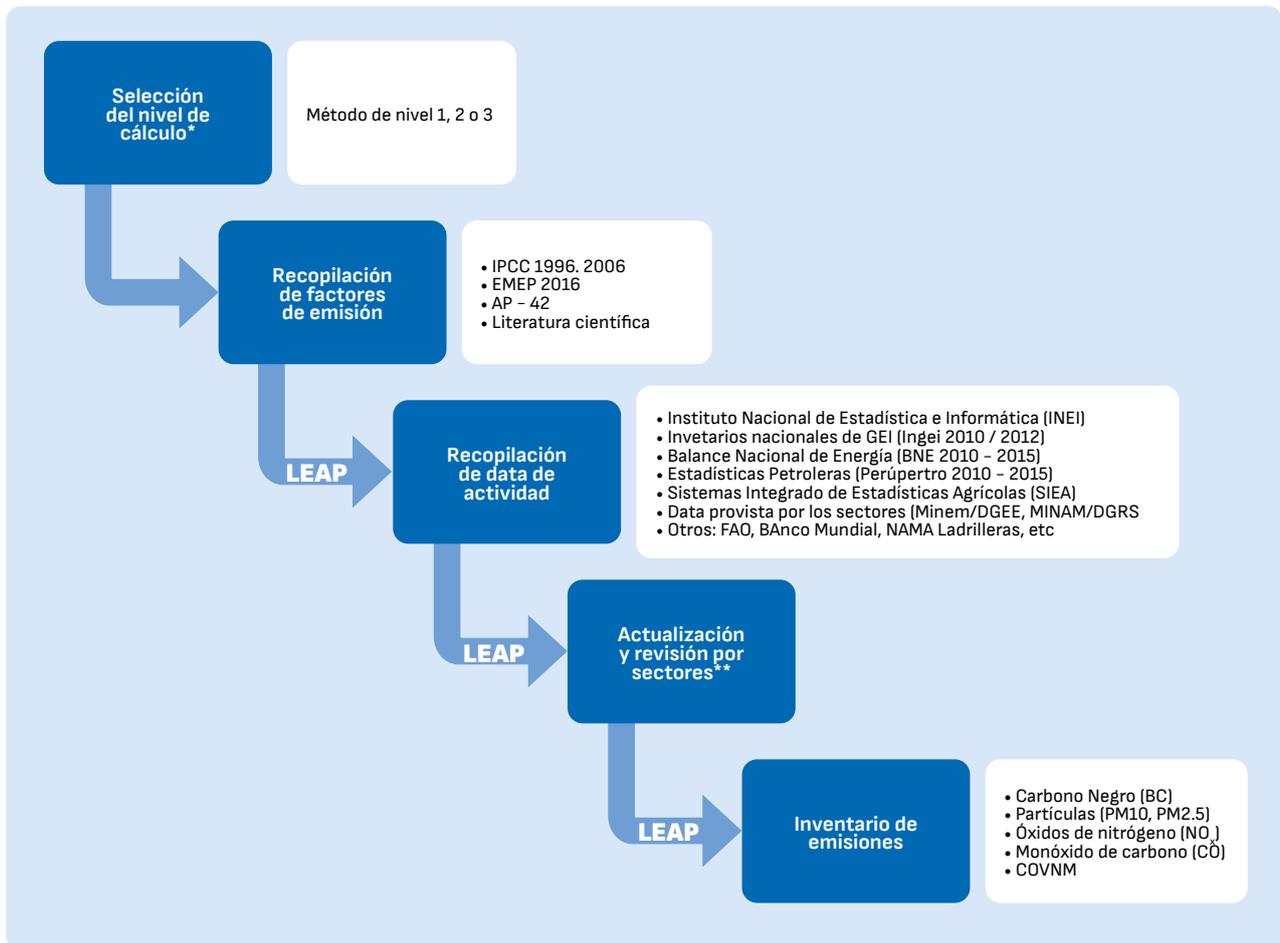
<sup>20</sup>El Ingei 2014 incluye la actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010 y 2012.

Adicional al seguimiento de GEI, LEAP también puede ser utilizado para analizar emisiones de contaminantes atmosféricos locales y regionales, haciéndolo idóneo para estudios de co-beneficios en el clima por la reducción de la contaminación del aire local. Esta herramienta permite modelar y evaluar acciones de mitigación en el largo plazo y la estimación de los co-beneficios de dichas acciones, como disminución en pérdida de cultivos y muertes prematuras asociadas a la contaminación del aire. En este caso, fue aplicada para estimar las emisiones

de contaminantes en el año 2010 y actualmente está siendo utilizada para evaluar la evolución de las emisiones en años históricos bajo un escenario de “Business as Usual” (todo sigue igual) o BAU, y para estimar la reducción de emisiones bajo diferentes medidas de mitigación.

El esquema que se presenta a continuación incluye un resumen de la metodología de trabajo y las fuentes de información utilizadas:

Ilustración 1. Metodología y fuentes de información



Elaboración propia (2019).

\* El nivel utilizado para estimar las emisiones depende de la cantidad y calidad de los datos disponibles. Los árboles de decisiones presentados en las directrices del IPCC, ayudan a seleccionar qué nivel debe utilizarse.

\*\* Los factores de emisión y datos de actividad utilizados en el software LEAP-IBC fueron socializados con los diferentes sectores (Minem, MINAM, MTC, etc.) y actualizados según lo sugerido por los especialistas, antes de la publicación de este inventario.

El alcance del inventario considera emisiones antropogénicas y las siguientes limitaciones y/o supuestos:

→ No se incluyen emisiones producidas por embarcaciones ni aeronaves en el transporte internacional.

→ Para el transporte terrestre se considera únicamente el combustible vendido dentro del territorio nacional.

→ Las emisiones provenientes del uso de leña son incluidas dentro de la categoría Energía, sin embargo no se incluyen emisiones por uso de leña en el sector comercial por falta de información (ej. pollerías, restaurantes de parrilla).

→ En los casos donde se reportan tecnologías de control de emisiones, principalmente en el sector industrial, se considera el porcentaje de reducción de emisiones de acuerdo a lo detallado en la metodología.

→ Para materia de este inventario se calcularon las emisiones pertenecientes a quema de biomasa (bosques y pastizales), del sector agricultura y quema. No se estimarán las emisiones por otros usos de la tierra como tierras de cultivo, humedales, asentamientos, entre otros.

Como parte del proceso de aseguramiento y control de calidad se han realizado revisiones, actualizaciones y consultas a especialistas de diferentes ministerios, ONG y expertos internacionales en talleres de retroalimentación tanto presencial como virtual. Los detalles de dicha revisión por pares se presentan en el anexo 6.3.



## 2.4 METODOLOGÍA ESPECÍFICA POR FUENTE DE EMISIÓN

En esta sección se presenta más detalladamente la metodología de cálculo utilizada para cada fuente de emisión, así como los recursos utilizados para obtener los datos de actividad y los factores de emisión.

### 2.4.1 ENERGÍA

La categoría de Energía incluye las emisiones originadas por el uso de combustibles en dos categorías principales: *quema de combustibles* en todos los sectores económicos e industrias de la energía, y *emisiones fugitivas* provenientes de la fabricación de combustibles.

#### → QUEMA DE COMBUSTIBLES

Esta subcategoría incluye las industrias de la energía y todos los sectores económicos: industrial, residencial, agropecuario y transporte.

El método general para calcular las emisiones por fuentes estacionarias que queman combustibles consiste en multiplicar el consumo de combustible por el factor de emisión correspondiente, de acuerdo con las directrices del IPCC 2006. Para efectos del cálculo, el consumo de combustible debe estar en unidades energéticas. Por lo tanto, las estadísticas de consumo a nivel nacional, disponibles en unidades de masa o volumen, deben ser convertidas teniendo en cuenta el contenido energético de cada combustible. La ecuación genérica del Nivel 1 es aplicada en todos los subsectores del sector energético y considera el uso de tecnologías típicas o tradicionales:

$$\text{Emisiones}_i = \sum (\text{CC}_j \cdot \text{FE}_{ij})$$

ECUACIÓN 1

Donde:

i= contaminante

j= tipo de combustible

CC<sub>j</sub> = Consumo del combustible j en unidades energéticas (TJ, TEP<sup>21</sup>)

FE<sub>ij</sub> = factor de emisión del contaminante i, combustible j (kg de contaminante/unidad energética).

El consumo total de combustible por tipo y por sector económico para el año 2010 fue tomado del Balance Nacional de Energía –BNE– 2015, debido a que allí se presentan los valores históricos actualizados.

Para los casos en los que se detectaron tecnologías con sistemas de control de emisiones de material particulado, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, la Ecuación 1 debe ser ajustada teniendo en cuenta la eficiencia de dichas tecnologías (% EC) de la siguiente forma:

$$\text{Emisiones}_i = \sum [\text{CC}_j \cdot \text{FE}_{ij} \cdot (1 - \% \text{EC})]$$

ECUACIÓN 2

La fórmula anterior se aplicó en los casos en los que se cuenta con información sobre las tecnologías de control de emisiones.

Para el cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub> por el uso de combustibles sólidos, se aplicó la Ecuación 1 utilizando factores de emisión específicos. Para el caso de combustibles líquidos, las emisiones de SO<sub>2</sub> fueron estimadas realizando un balance de masa, suponiendo que todo el azufre en el combustible es convertido en SO<sub>2</sub> durante el proceso de combustión:

$$\text{Emisiones}_{\text{SO}_2} = \% S_i \cdot \left(\frac{\text{SO}_2}{S}\right) \cdot \text{CC}_j \cdot (1 - \% \text{EC})$$

ECUACIÓN 3

Donde:

% S<sub>j</sub> = porcentaje de azufre en el combustible j

$\left(\frac{\text{SO}_2}{S}\right)$  = relación másica (gramos de SO<sub>2</sub>/gramos de azufre), a partir de la relación molar calculada estequiométricamente.

CC<sub>j</sub> = consumo de combustible j, en masa

EC = eficiencia del sistema de control de emisiones

<sup>21</sup>TJ = Terajoule; TEP = Tonelada Equivalente de Petróleo

En las siguientes secciones se presenta una breve explicación y una ficha con el resumen de la metodología aplicada en cada subcategoría.

### A.1 INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA

En esta sección se consideran las emisiones provenientes de la producción de energía en general, dividiéndose en tres subcategorías de la siguiente forma: generación de energía eléctrica, refinación de petróleo y producción de combustibles sólidos y otras industrias de la energía.

La producción de energía eléctrica en el Perú provino en el año 2010 a un 58 % de centrales hidroeléctricas y el resto de centrales térmicas, las cuales consumen principalmente hidrocarburos como fuente de energía.

El combustible que ha alcanzado mayor relevancia en los centros de transformación es el gas distribuido o gas natural, seguido del petróleo industrial y el carbón mineral. Otros combustibles utilizados en menor proporción fueron el diésel B2 y el bagazo.

En esta sección se consideran solo las emisiones por la producción de electricidad para el mercado eléctrico, es decir, el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y los Sistemas Aislados (SA).

El consumo de combustible en la Ecuación 1, se calcula en base a la demanda de electricidad en todos los sectores económicos y la composición de la matriz energética del país.

•Ficha 1• Ficha resumen de metodología: Generación de energía eléctrica

<b>CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA</b>
<b>SUBCATEGORÍA: GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>
<b>GENERAL</b>

Emisiones por el consumo de combustibles fósiles y biomasa para la producción de energía eléctrica como actividad principal en el Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN) y en el Sistema Aislado (SA).

MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
i = COVNM, CO, SO <sub>2</sub>	$Emisiones_i = \sum (CC_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	COVNM y CO: EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
i=PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx	$Emisiones_i = \sum [CC_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)]$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
SO <sub>2</sub> (combustibles líquidos)	$Em_{SO_2} = \% S_j \cdot (\frac{SO_2}{S}) \cdot CC_j \cdot (1 - \%EC)$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en los centros de transformación, desagregado por tipo de combustible.	Balance Nacional de Energía –BNE– 2015. Estadísticas 2010 <sup>22</sup> y Anuario Estadístico de Electricidad 2014.	

Consideraciones y supuestos

Las características específicas de cada tipo de combustible, como contenido de azufre, poder calorífico, etc., pueden encontrarse en el anexo 6.2. Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.

La subcategoría de refinación de petróleo hace referencia a todas las actividades de combustión para la producción de derivados del petróleo crudo (gasolina, petróleo industrial, turbo, GLP, diésel, gas de refinería), incluyendo la combustión *in situ* para la generación de electricidad y calor para uso propio.

En esta sección no se incluyen las emisiones por evaporación en la refinería. La metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Finalmente, la subcategoría de producción de combustibles sólidos y otras industrias de la energía (uso propio), se refiere a las emisiones por la quema

Ficha 2. Ficha resumen de metodología: Refinación de petróleo

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA			
SUBCATEGORÍA: REFINACIÓN DE PETRÓLEO (USO PROPIO)			
GENERAL			
Emisiones por el consumo de combustibles en las refinerías de petróleo para generar electricidad o calor para el autoconsumo.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
<b>i = COVNM, CO, SO<sub>2</sub></b>	$Emisiones_i = \sum (CC_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 – Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	COVNM y CO: EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
<b>i=PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, BC, NOx</b>	$Emisiones_i = \sum [CC_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)]$	Directrices IPCC 2006 – Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
<b>SO<sub>2</sub> (combustibles líquidos)</b>	$Em_{SO_2} = \% S_j \cdot \left(\frac{SO_2}{S}\right) \cdot CC_j \cdot (1 - \%EC)$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
<b>BC, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NOx, SO<sub>2</sub>, CO, COVNM</b>	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en las refinerías de petróleo, desagregado por tipo de combustible.	Balance Nacional de Energía 2014, datos para el año 2010.	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			

Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.

<sup>22</sup>Los datos de actividad disponibles en el BNE corresponden a la cantidad de cada combustible o fuente utilizada para producir electricidad. En el cálculo se tuvo en cuenta la eficiencia del proceso de transformación usando como fuente de referencia el estudio: Source of process efficiency: Report drafted by EURELECTRIC "Preservation of Resources" Working Group's "Upstream" Sub-Group in collaboration with VGB, julio 2003.

de combustibles en la fabricación de carbón vegetal, así como para la generación de electricidad –para autoconsumo– en actividades de producción de gas natural y biocombustibles. La metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

•Ficha 3• Ficha resumen de metodología: Producción de combustibles sólidos y otras industrias de la energía

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA			
SUBCATEGORÍA: PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS Y OTRAS INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA (USO PROPIO)			
GENERAL			
Emisiones por el consumo de combustibles para la producción de combustibles sólidos, así como para la generación de electricidad para uso propio en producción de gas natural y biocombustibles.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
i = CO, COVNM	$Emisiones_i = \sum (CC_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	COVNM y CO: EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
i=PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx	$Emisiones_i = \sum [CC_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)]$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
SO <sub>2</sub> (combustibles líquidos)	$Em_{SO_2} = \% S_i \cdot \left(\frac{SO_2}{S}\right) \cdot CC_j \cdot (1 - \%EC)$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
BC, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) para la producción de combustibles sólidos y otras industrias de la energía, desagregado por tipo de combustible.	Balance Nacional de Energía 2014, datos para el año 2010.	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			
No se consideran emisiones por producción de coque, debido a que este se importa en su totalidad desde el año 2005. Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.			

## A.2 INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN

En esta sección se consideran las emisiones por la quema de combustibles en el sector de manufactura y construcción, dividiéndolo en tres subcategorías: industria ladrillera, minero metalúrgico y otras industrias.

### → INDUSTRIA LADRILLERA

El proceso productivo para la fabricación de ladrillos es una fuente importante de gases y material particulado, incluyendo BC, principalmente por el uso de combustibles sólidos y biomasa como leña, carbón mineral, aserrín, estiércol y residuos agrícolas (cascarilla de arroz y café), especialmente en las ladrilleras artesanales durante la etapa de cocción de ladrillos en el horno. La cocción de ladrillos (o piezas) en el horno es la principal etapa del proceso de fabricación en términos energéticos, haciendo uso de aproximadamente el 95 % de toda la energía térmica demandada por la empresa<sup>25</sup>.

A continuación, se presenta la metodología de cálculo para estimar las emisiones de las ladrilleras industriales (legalmente constituidas y tecnificadas) que producen piezas de manera mecanizada en hornos eficientes como los tipos túnel, Hoffman y colmena; y de las ladrilleras tradicionales o artesanales, que producen piezas de manera manual o semi-mecanizada,

cuyos hornos son estructuras de tiro abierto de pequeña capacidad.

Cabe resaltar que existen ciertas limitaciones en la estimación de las emisiones en las ladrilleras artesanales debido a que gran parte de estas microempresas funcionan en completa informalidad y por lo tanto no se cuenta con estadísticas oficiales de producción y uso de combustibles.

En este caso, el cálculo se realizó partiendo de información recolectada en campo y utilizando la Ecuación 1 descrita anteriormente. El factor de actividad para este sector es el consumo de cada tipo de combustible por tipo de horno y es calculado de la siguiente forma:

$$CC_j = IE \cdot PT \cdot \%C_j$$

ECUACIÓN 4

Donde:

$CC_j$  = consumo del combustible j por tipo de horno, en unidades energéticas (TJ)

IE = Intensidad energética o consumo específico de energía por tipo de horno (TJ/t de ladrillo producido).

PT = Producción total de ladrillos al año por tipo de horno, en toneladas.

$\%C_j$  = Porcentaje de uso del combustible j en cada tipo de horno, calculado en base a información de consumo (en volumen o en masa) recolectada en las encuestas de Produce y teniendo en cuenta el contenido energético de cada combustible.



<sup>25</sup> Manual de eficiencia energética en la industria ladrillera (2015).

El consumo específico de energía para cada tipo de horno eficiente fue tomado del informe preliminar del NAMA para el sector ladrillero, mientras que para los hornos artesanales fue tomado del Manual de capacitación del sector ladrillero en América Latina del programa EELA, usando como referencia los hornos abiertos o calderas.

La información sobre la producción promedio anual de ladrillos en ladrilleras artesanales e industriales fue tomada del informe preliminar del NAMA para el sector ladrillero que utilizó la información generada en el marco de las encuestas realizadas por Produce en los años 2012

y 2015, para ladrilleras artesanales e industriales, respectivamente. En ladrilleras artesanales solo hay información disponible en las regiones de Puno, Ayacucho, Piura y Andahuaylas, sin embargo, la producción promedio estimada en la encuesta fue multiplicada por el número total de empresas identificadas a nivel nacional. Ahora bien, teniendo en cuenta que el presente análisis toma como base el año 2010 y que se cuenta con información de producción para los años 2012 y 2015, los datos para el año base fueron estimados teniendo en cuenta un crecimiento promedio anual del PBI equivalente al 4 %. En la siguiente tabla se presenta la producción de ladrillos estimada y el consumo específico de energía por tipo de horno.

Tabla 3. Producción de ladrillos (año 2010) y consumo específico de energía por tipo de horno

TIPO DE HORNO	PRODUCCIÓN (TONELADAS)	CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA (MJ/KG)
Artisanal <sup>26</sup>	1.205.117	4,5
Túnel	3.053.767	1,15
Hoffman	1.820.366	1,5
Colmena	2.198	3

Fuente: Informe NAMA ladrilleras. La producción fue estimada en base a data del Informe NAMA ladrilleras y encuestas realizadas por Produce en los años 2012 (artesanales) y 2015 (industriales), asumiendo un crecimiento en la producción de 4 % anual.



<sup>26</sup> El consumo específico de energía en hornos artesanales fue obtenido del Manual de Capacitación del Sector Ladrillero en América Latina (CCAC, Swisscontact), tomando como referencia el horno abierto "caiera" u open-pit, en inglés.

Finalmente, los factores de emisión fueron tomados del IPCC 2006, EMEP/EEA 2016, del Manual de Eficiencia Energética en la industria ladrillera, el Reporte de resultados e interpretación de datos recolectados en Colombia, las fichas técnicas de los diferentes tipos de hornos en América Latina y el sudeste asiático

(elaborados por Swisscontact), y artículos académicos (*Rajarithnam et al. (2014)*, *Weyant et al. (2014)*, *Bond et al. (2004)* y *Battye et al. (1994)*).

El resumen de la metodología utilizada y fuentes de información se presenta en la siguiente ficha:

•Ficha 4• Ficha resumen de metodología: Ladrilleras artesanales e industriales

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, INDUSTRIA LADRILLERA			
SUBCATEGORÍA: LADRILLERAS ARTESANALES E INDUSTRIALES			
GENERAL			
Emisiones por la quema de combustibles sólidos y biomasa en ladrilleras artesanales e industriales que usan hornos eficientes como el Hoffman, Túnel y Colmena.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
<b>i = COVNM, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, BC, NOx</b>	Emisiones <sub>i</sub> = Σ (CC <sub>j</sub> · FE <sub>ij</sub> ) CC <sub>j</sub> = IE · PT · %C <sub>i</sub>	Directrices IPCC 2006 – Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	IPCC 2006, EMEP/EEA 2016, Manual de eficiencia energética en la industria ladrillera (Swisscontact), reporte de resultados e interpretación de datos recolectados en Colombia (carbón) <sup>25</sup> , fichas técnicas de horno colmena en América Latina y Hoffman en el sudeste asiático (Swisscontact).  Artículos académicos: <i>Rajarithnam et al. (2014)</i> , <i>Weyant et al. (2014)</i> , <i>Bond et al. (2004)</i> y <i>Battye et al. (1994)</i> .
<b>SO<sub>2</sub> (combustibles líquidos)</b>	$Em_{SO_2} = \% S_j \cdot \left(\frac{SO_2}{S}\right) \cdot CC_j$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
<b>COVNM, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, BC, NOx</b>	Producción total anual de ladrillos en hornos artesanales y eficientes <sup>a</sup> . Proporción de combustible utilizado en cada tipo de horno <sup>b</sup> . Consumo específico de energía por tipo de horno <sup>c</sup> .	<sup>a</sup> NAMA del sector ladrillero, basado en encuestas realizadas por Produce. <sup>b</sup> Calculado con información de la encuesta de Produce, NAMA del sector ladrillero. <sup>c</sup> NAMA del sector ladrillero (hornos industriales) y Manual de Capacitación del sector ladrillero en América Latina (hornos artesanales).	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el NAMA del sector ladrillero solo hay información disponible para las regiones de Puno, Ayacucho, Piura y Andahuaylas sobre tipo y cantidad de combustible consumido en ladrilleras artesanales.</li> <li>• La producción de ladrillos para el año 2010 fue estimada con la información de las encuestas realizadas por Produce en los años 2012 y 2015.</li> <li>• Se asumió que la demanda de ladrillos es proporcional al crecimiento del PBI promedio anual, estimado en un 4 %.</li> <li>• Factores de emisión detallados se presentan en la tabla 18 del anexo 6.1.1</li> </ul>			

<sup>25</sup>Swisscontact. (2016). Results and Interpretation of data collected-Colombia.

## → MINERO METALÚRGICO Y OTRAS INDUSTRIAS

Debido a que se utilizó la misma metodología en ambas subcategorías y los factores de emisión fueron tomados de la misma fuente, el método genérico se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 5. Ficha resumen de metodología: Sector minero metalúrgico, otras industrias (excluyendo industria ladrillera)

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, INDUSTRIAS DE MANUFACTURA Y CONSTRUCCIÓN			
SUBCATEGORÍA: MINERO METALÚRGICO, OTRAS INDUSTRIAS (EXCLUYENDO INDUSTRIA LADRILLERA)			
GENERAL			
Emisiones por la quema de combustibles en el sector minero metalúrgico y el sector industrial, excluyendo la industria ladrillera.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
i = COVNM, CO	$Emisiones_i = \sum (CC_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	- COVNM y CO: EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.1.
i=PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx	$Emisiones_i = \sum [CC_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)]$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	Por defecto en EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.2.
SO <sub>2</sub> (combustibles líquidos)	$Em_{SO_2} = \% S_j \cdot \left(\frac{SO_2}{S}\right) \cdot CC_j \cdot (1 - \%EC)$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
COVNM, CO, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, Nox	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en el sector minero metalúrgico, desagregado por tipo de combustible. Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en el sector industrial, desagregado por tipo de combustible y excluyendo el consumo energético en la industria ladrillera.	Balance Nacional de Energía –BNE– 2015. Estadísticas 2010. Balance Nacional de Energía –BNE– 2015. Estadísticas 2010 y NAMA del sector ladrillero.	
Consideraciones y supuestos			
Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.			

### A.3 TRANSPORTE

Esta categoría comprende las emisiones por la combustión de combustibles fósiles en actividades de transporte. Las fuentes móviles consideradas son: terrestre, aéreo, ferroviario y acuático.

El transporte terrestre hace referencia a las emisiones vehiculares de los vehículos de pasajeros, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, motocicletas y buses. Las emisiones en esta categoría dependen del tipo de tecnología vehicular, tipo de combustible utilizado y características de operación, por lo tanto, es recomendable utilizar un nivel de cálculo más alto que incluya todas estas variables. Para estimar las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO, COVNM, PM<sub>2,5</sub> y BC, se utilizó el Nivel 2 de la guía europea EMEP/EEA 2016, cuya fórmula general es:

$$\text{Emisiones}_{i,j} = \sum [N_{j,k,l} \cdot D_k \cdot FE_{i,j,k,l}]$$

ECUACIÓN 5

Donde:

$N_{j,k,l}$  = Número de vehículos que usan el combustible  $j$ , en la categoría vehicular  $k$  y tecnología  $l$

$D_k$  = Distancia promedio anual recorrida por vehículo en la categoría vehicular  $k$  (km/veh), suponiendo que el kilometraje es el mismo sin importar la tecnología  $k$ .

$FE_{i,j,k,l}$  = Factor de emisión del contaminante  $i$ , tipo de combustible  $j$ , en la categoría vehicular  $k$ , y tecnología  $l$  (g/km), disponibles por defecto en el EMEP/EEA 2016 para las siguientes categorías: vehículos de pasajeros, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, motocicletas y buses.

De acuerdo con el EMEP/EEA 2016 la fracción gruesa de material particulado entre 2,5 a 10 micrómetros (PM<sub>2,5-10</sub>) es despreciable en las emisiones vehiculares, por lo tanto, al PM<sub>10</sub> se le asignó el mismo factor de emisión de PM<sub>2,5</sub>.

El número de unidades del parque automotor circulante por tipo de categoría vehicular fue tomado de la oficina de estadística del Ministerio de Transporte y Comunicaciones/OGPP, a excepción del número de motos que fue obtenido de hojas de cálculo del BAU transporte en el marco de las iNDC; el número de taxis formales en Lima al año 2015, así como el tipo de combustible que utilizan, se obtuvieron del oficio de respuesta de la Gerencia de Transporte Urbano de la Municipalidad de Lima, facilitado por la DGEE del Minem (ver anexo 6.5).

El porcentaje de taxis informales y los registrados en el Callao fueron estimados para obtener el número total de taxis circulantes. Para ello se utilizaron datos reportados en "Lima como vamos", y el estudio realizado por el Programa de Inversión Responsable (PIR) de A2G Climate Partners y el Programa Regional Seguridad Energética y Cambio Climático en América Latina –EKLA– de la Fundación Konrad Adenauer –KAS– (2015)<sup>26</sup>. Así, se obtuvo que aproximadamente el 18,6 % de los taxis son del Callao, el 37,6 % son formales de Lima y el 43,8 % son informales. Debido a que los datos oficiales sobre taxis formales en Lima se obtuvieron para el año 2015, el valor al 2010 fue estimado suponiendo que el número de taxis ha crecido aproximadamente 1,1 % anual, de forma proporcional al crecimiento poblacional.

La división entre automóviles y taxis, a pesar de pertenecer a la misma categoría vehicular (vehículo de pasajeros), se realizó debido a la diferencia en la distancia promedio recorrida anualmente por cada uno; el no hacerlo podría subestimar los resultados.

Debido a que la información obtenida del parque automotor se encuentra clasificada de forma distinta a la del EMEP/EEA 2016, la asignación de factores de emisión se realizó según la siguiente clasificación: a las categorías de automóvil, taxis y station wagon se les asignó el factor de emisión de *vehículos de pasajeros*; a las de camionetas pick-up, rural y panel se les asignó el factor de emisión de *vehículos comerciales ligeros*; a las de camión y remolcador se les asignó el factor de emisión de *vehículos pesados* y al ómnibus se le asignó el factor de emisión de *buses*.

La distancia recorrida promedio por categoría vehicular se tomó del BAU del sector transporte elaborado por Plan CC, a excepción de los vehículos de pasajeros, cuyo kilometraje promedio anual se obtuvo del informe de propuesta de etiquetado energético en el Perú, elaborado por Swisscontact<sup>27</sup>. La distribución del parque automotor por categoría vehicular y tipo de combustible fue tomada del Ingei del año 2010, actualizado en el Ingei 2014.

Ante la ausencia de una base de datos oficial con respecto al tipo de tecnología en cada categoría vehicular, se han hecho una serie de suposiciones con el fin de usar los factores de emisión por defecto en el Nivel 2. El tipo de tecnología hace referencia al cilindraje del vehículo y clasificación

<sup>26</sup> Joining the dots of informality and Climate Change: A discussion paper for practitioners. Programa de Inversión Responsable (PIR) de A2G Climate Partners y el Programa Regional Seguridad Energética y Cambio Climático en América Latina –EKLA– de la Fundación Konrad Adenauer –KAS–, diciembre 2015.

<sup>27</sup> Elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú. Informe Final. Swisscontact, mayo 2014.

de acuerdo con la normativa europea sobre emisiones contaminantes, es decir, euro standard. Debido a que el Perú no cuenta con un centro de control y certificación vehicular, la clasificación por euro standard se realizó por recomendación de expertos, teniendo en cuenta la entrada en vigencia de la norma y el año en el que el vehículo ingresó al país, de la siguiente forma:

→ **PRE-EURO: ANTES DEL AÑO 2000**

→ **EURO 1: 2000-2003**

→ **EURO 2: 2003-2007**

→ **EURO 3: 2007 EN ADELANTE**

Por otro lado se asumió un cilindraje o capacidad del motor intermedio para todas las categorías vehiculares. Para motocicletas (4 tiempos, <math><250\text{ cm}^3</math>), se realizó un promedio de los factores de emisión de Pre Euro, Euro 1 y Euro 2. Los detalles sobre los factores de emisión para cada categoría se encuentran en la tabla 22 y tabla 23 del anexo 6.1.1.

Los factores de emisión para mezclas de diésel con biodiésel (DB2 y DB5), fueron ajustados de la siguiente forma:

Tabla 4. Factores de corrección de los factores de emisión para diésel<sup>28</sup>

TIPO DE COMBUSTIBLE/PORCENTAJE DE MEZCLA	NOX	CO	PM	COVNM
Diésel B2 (2 % biodiésel)	0,40 %	-1,67 %	-1,85 %	-2,96 %
Diésel B5 (5 % biodiésel)	0,67 %	-3,89 %	-3,70 %	-5,93 %



<sup>28</sup> "A comprehensive analysis of biodiésel impacts on exhaust emissions technical report". US EPA, EPA 420-P-02-001. octubre 2002.

Las emisiones de SO<sub>2</sub> fueron estimadas por medio de balance de masa teniendo en cuenta el contenido de azufre en el combustible, de acuerdo con la Ecuación 3.

De acuerdo con el manual de emisiones *Atmospheric Brown Clouds*, conseguir información

específica relativa a la categoría vehicular para aplicar el Nivel 2 de cálculo del EMEP se convierte en un gran desafío en los países en vía de desarrollo.

El resumen de la metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 6. Ficha resumen de metodología: Transporte terrestre

<b>CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLE, TRANSPORTE</b>
<b>SUBCATEGORÍA: TRANSPORTE TERRESTRE</b>
GENERAL

Emisiones por el uso combustibles líquidos y gaseosos en el transporte terrestre.

MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
CONTAMINANTE	METODOLOGÍA	FUENTE DE METODOLOGÍA	FUENTE DE FACTORES DE EMISIÓN
i=PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, COVNM, CO	Emisiones <sub>ij</sub> = Σ [N <sub>i,k,l</sub> • D <sub>j</sub> • FE <sub>i,j,k</sub> ]	EMEP/EEA 2016, Nivel 2, capítulo 1.A.3.b.i-iv.	EMEP/EEA 2016, tablas 3-17 a 3-26.
SO <sub>2</sub>	Em <sub>SO2</sub> = % S <sub>j</sub> • ( $\frac{SO_2}{S}$ ) • CC <sub>j</sub> • (1 - %EC)	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP.	
INFORMACIÓN			
CONTAMINANTE	DATOS DE ACTIVIDAD	FUENTE	
PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, COVNM, CO	Número de vehículos por categoría vehicular y tipo de tecnología <sup>a</sup> . Distancia promedio anual recorrida por vehículo <sup>b</sup> .	<sup>a</sup> Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones/OGPP. <sup>b</sup> Plan CC y Swisscontact	
SO <sub>2</sub>	Consumo de combustible en unidades energéticas <sup>c</sup> .	<sup>c</sup> Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			

Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 22 y tabla 23 del anexo 6.1.1.

En cuanto a las emisiones del transporte aéreo, de acuerdo con las directrices del IPCC, estas están compuestas en un 70 % de CO<sub>2</sub>, el Gas de Efecto Invernadero más importante y 30 % de H<sub>2</sub>O, no considerados en este informe. Menos del 1 % (cada uno) corresponde a NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, COVNM y partículas.

En este informe, el cálculo de las emisiones en esta categoría está basado en el consumo de Turbo A1 y gasolina de aviación en vuelos domésticos.

Para las emisiones del transporte ferroviario se consideró el consumo de petróleo diésel en

las locomotoras de los ferrocarriles: Tacna–Arica, Huancayo–Huancavelica, Central Andina, Perú Rail e Inca Rail. Finalmente, para estimar las emisiones por el transporte acuático, se consideró la navegación lacustre, fluvial y marítima nacional y su consumo de gasolina, diésel y petróleo industrial anual.

La Ecuación 1 fue utilizada para estimar las emisiones del transporte aéreo, ferroviario y acuático.

El resumen de la metodología y las fuentes de información se presentan en la siguiente ficha:

•Ficha 7• Ficha resumen de metodología: Transporte aéreo, ferroviario y navegación fluvial, lacustre y marítima

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, TRANSPORTE			
SUBCATEGORÍA: TRANSPORTE AÉREO, FERROVIARIO Y NAVEGACIÓN FLUVIAL, LACUSTRE Y MARÍTIMA			
GENERAL			
Emisiones por la combustión en actividades de aviación doméstica, transporte ferroviario y navegación fluvial, lacustre y marítima nacional, basada en el consumo de combustible.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
<b>i = COVNM, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, BC, NO<sub>x</sub></b>	$\text{Emisiones}_i = \sum (\text{CC}_j \cdot \text{FE}_{i,j})$	Directrices IPCC 2006, volumen 2, capítulo 3.	IPCC 2006, volumen 2, capítulo 3, EMEP/EEA 2016 capítulos 1.A.3.a, 1.A.3.c y 1.A.3.d y Bond et al. (2004)
<b>SO<sub>2</sub></b>	$\text{Em}_{\text{SO}_2} = \% S_j \cdot \left(\frac{\text{SO}_2}{S}\right) \cdot \text{CC}_j$	% de azufre en el combustible	
INFORMACIÓN			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
<b>COVNM, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, BC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub></b>	Consumo total de combustible, por tipo de combustible.	Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			
No se consideraron el transporte aéreo y marítimo internacional.			
Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.			

#### A.4 SECTOR RESIDENCIAL

En esta sección se consideran las emisiones en el sector residencial, específicamente por la quema de biomasa, uso de gas natural y GLP para la cocción de alimentos. Las emisiones por consumo de electricidad en cocinas eléctricas, iluminación y otros usos (electrodomésticos), son calculadas en la sección de generación de energía eléctrica (capítulo 3.2, sección A.1, ficha 1).

La demanda total de combustibles en el sector residencial se presenta en el Balance Nacional de Energía 2010. De acuerdo con información de las bases de datos del INEI (hogares por tipo de energía o combustible que más se utiliza para cocinar), los combustibles que predominan en los hogares de la zona urbana son GLP y gas natural, mientras que en la zona rural son la leña y otro tipo de biomasa. Del total de energía consumida en el sector residencial a nivel nacional, el 66 % proviene del uso de leña,

el 22,8 % del uso de GLP, el 7,5 % del uso de bosta/yareta, el 1,5 % del uso de carbón vegetal y 0,2 % del uso de gas natural.

Para el cálculo de emisiones se aplicó la Ecuación 1, considerando el consumo de cada tipo de combustibles y factores de emisión obtenidos de diferentes fuentes.

El BNE 2010 presenta el consumo de leña total en el sector residencial. Así, para dividir el consumo de leña entre cocinas tradicionales y mejoradas, se realizó una estimación del consumo en cocinas mejoradas que usan leña teniendo en cuenta el número de cocinas instaladas<sup>29</sup>, el consumo de leña típico de la estufa *Inkawasi-UKddd*<sup>30</sup> (en MJ por adulto estándar<sup>31</sup> al día) y asumiendo tres adultos estándar<sup>32</sup> por hogar en Perú (en base a consultas con expertos).



<sup>29</sup> De acuerdo con la publicación "Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible" de EnDev GIZ Perú, al año 2008 se habían instalado 10 mil cocinas mejoradas a leña. Al año 2015, se habían instalado 402.259 cocinas eficientes bajo los programas de Qori Q'oncha y ENDev. De acuerdo a dichos valores se estimó que para el año 2010 se habían instalado 28.736 cocinas mejoradas.

<sup>30</sup> <http://catalog.cleancookstoves.org/stoves/155>

<sup>31</sup> Los factores de equivalencia de "adulto estándar o SA" definidos en términos de sexo y edad son: niño 0-14 años = 0,5 SA; femenino más de 14 años = 0,8 SA; masculino de 15-59 años = 1 SA; y masculino mayor a 59 años = 0,8 SA.

<sup>32</sup> En base a las características estándar de las familias rurales, se estimó que su composición suele estar formada por dos adultos y entre dos y tres niños. Siendo así, se estableció usar como promedio nacional el valor de 3 SA.

Los factores de emisión para cocinas mejoradas a leña, también se obtuvieron de *Akagi et al. (2011)*. En este estudio se presentan los factores de emisión de la estufa mexicana Patsati, cuyo consumo de energía difiere en menos del 10 % con

respecto a la Inkawasi-UK, uno de los modelos de cocinas mejoradas usados en el Perú. Los factores de emisión por el uso de gas natural y GLP en el sector residencial se tomaron del EMEP/EEA 2016. El resumen de la metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 8. Ficha resumen de metodología: Sector residencial

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, SECTOR RESIDENCIAL			
SUBCATEGORÍA: COCCIÓN DE ALIMENTOS			
GENERAL			
Emisiones en el sector residencial, específicamente por la quema de biomasa y otros combustibles para la cocción de alimentos.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
<b>i = COVNM, CO, PM<sub>10r</sub>, PM<sub>2,5r</sub>, BC, NOx, SO<sub>2</sub></b>	$Emisiones_i = \sum (CC_i \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 – Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	Factores de emisión detallados se presentan en la tabla 24 del anexo 6.1.1.
INFORMACIÓN			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
<b>COVNM, CO, PM<sub>10r</sub>, PM<sub>2,5r</sub>, BC, NOx, SO<sub>2</sub></b>	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en el sector residencial, desagregado por tipo de combustible.	BNE 2010, catálogo de cocinas limpias <sup>35</sup> y publicación: Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible (EnDev/Giz y otros).	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			

- No se está considerando iluminación con petróleo por falta de información.
- A partir del año 2010, entra en vigencia la prohibición de la venta de kerosene para evitar su uso como insumo en la elaboración de drogas y se establece en el Minem el proyecto NINA (posteriormente Cocina Perú, con la finalidad de sustituir el consumo doméstico de kerosene por GLP y la sustitución de cocinas tradicionales a leña por cocinas mejoradas (*Escobar et al. 2016*).
- Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 24 del anexo 6.1.1.

<sup>35</sup> <http://catalog.cleancookstoves.org/test-results/155>

## A.5 OTROS

En esta categoría se han incluido las emisiones por la quema de combustibles en otros sectores económicos: público, comercial, agropecuario, pesquero y agroindustrial. Debido a su baja representatividad en emisiones de CCVC y

contaminantes criterio, estos cinco sectores económicos se han agrupado en dos subcategorías para facilitar la presentación de resultados: público/comercial y agricultura/pesca. La metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 9. Ficha resumen de metodología: Sectores público/comercial y agricultura/pesca

CATEGORÍA: ENERGÍA, QUEMA DE COMBUSTIBLES, OTROS			
SUBCATEGORÍA: PÚBLICO/COMERCIAL Y AGRICULTURA/PESCA			
GENERAL			
Emisiones por la quema de combustibles en otros sectores económicos: público, comercial, agropecuario, pesquero y agroindustrial.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
<b>i = COVNM, CO</b>	$Emisiones_i = \sum (CC_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.4 para COVNM y CO.
<b>i=PM<sub>10r</sub>, PM<sub>2,5r</sub>, BC, NOx</b>	$Emisiones_i = \sum [CC_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)]$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 2.	Por defecto en EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.4.
<b>SO<sub>2</sub> (combustibles líquidos)</b>	$Em_{SO_2} = \% S_j \cdot \left(\frac{SO_2}{S}\right) \cdot CC_j \cdot (1 - \%EC)$	% de azufre en el combustible tomado de fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos por defecto en LEAP (ver anexo 6.2).	
INFORMACIÓN			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
<b>COVNM, CO, PM<sub>10r</sub>, PM<sub>2,5r</sub>, BC, NOx, SO<sub>2</sub></b>	Consumo anual nacional de combustible (en unidades energéticas) en los sectores público, comercial, agropecuario, pesquero y agroindustrial, desagregado por tipo de combustible.	Balance Nacional de Energía –BNE– 2015. Estadísticas 2010.	
Consideraciones y supuestos			

Factores de emisión detallados y nivel de actividad se presentan en la tabla 17 del anexo 6.1.1.

### → EMISIONES FUGITIVAS DE LOS COMBUSTIBLES

Esta categoría comprende las emisiones fugitivas de la fabricación de combustibles, específicamente por la obtención de combustibles sólidos como carbón mineral y por la fabricación, transporte y almacenamiento de combustibles secundarios como petróleo y gas natural.

- Petróleo y gas natural: las fuentes primarias de emisiones fugitivas en las actividades de petróleo y gas natural pueden incluir fugas de equipos, pérdidas por evaporación, emisiones accidentales, quema y venteo. Las actividades principales consideradas en el cálculo son: exploración, producción y refinación de petróleo.

$$\text{Emisiones } i = \sum_j (S_j \cdot FE_{i,j})$$

ECUACIÓN 6

Donde:

$S_j$  = Segmento de la industria  $j$ , se refiere al valor de la actividad (unidades de actividad)

$FE$  = factor de emisión del contaminante  $i$ , en el segmento de la industria  $j$ , (Gg/unidades de actividad)

Los segmentos de la industria con su respectivo nivel de actividad se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Segmentos de la industria del petróleo y gas natural con sus datos de actividad y contaminantes emitidos

SEGMENTO DE LA INDUSTRIA	NIVEL DE ACTIVIDAD	CONTAMINANTES
Perforación de pozos	Pozos perforados (incluye pozos en desarrollo, exploratorio, confirmatorio)	COVNM
Producción de petróleo/ <i>on shore</i>	Cantidad de petróleo convencional producido	COVNM
Producción de petróleo/ <i>off shore</i>	Cantidad de petróleo convencional producido	COVNM
Quema en antorcha	Volumen de gas quemado	COVNM, BC
Transporte de petróleo en tuberías	Cantidad de petróleo transportado en tubería <sup>34</sup>	COVNM,
Refinación de petróleo	Cantidad de petróleo refinado	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, COVNM
Gasolina: Estación de despacho de refinería	Producción total de gasolina motor y gasohol en refinerías	COVNM
Gasolina: Transporte y depósitos	Consumo de gasohol y gasolina motor en el sector transporte	COVNM
Gasolina: Estaciones de servicio	Consumo de gasohol y gasolina motor en el sector transporte	COVNM
Producción de gas	Producción de gas natural y LGN fiscalizado	COVNM
Procesamiento de gas	Producción de gas natural y GNL fiscalizado	COVNM
Distribución de gas	Producción de gas natural y GNL fiscalizado	COVNM

<sup>34</sup> Se asume que toda la producción costera y en altamar se transporta en tubería. No hay datos oficiales sobre transporte de petróleo en camiones y buques cisterna.

Los datos de actividad fueron extraídos de la estadística petrolera de Perupetro 2010 y del Balance Nacional de Energía.

Ficha 10. Ficha resumen de metodología: Emisiones fugitivas, petróleo y gas natural

<b>CATEGORÍA: ENERGÍA, EMISIONES FUGITIVAS DE LOS COMBUSTIBLES</b>
<b>SUBCATEGORÍA: PETRÓLEO Y GAS NATURAL</b>
GENERAL

Emisiones fugitivas por la obtención de carbón y por la fabricación, transporte y almacenamiento de combustibles secundarios.

Método de estimación de emisiones			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
i = COVNM, BC, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO	$Emisiones_i = \sum_j (S_j \cdot FE_{ij})$	Directrices IPCC 2006 - Nivel 1, volumen 2, capítulo 4.	IPCC 2006, EMEP/EEA 2016
Información			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
COVNM	Depende del segmento de la industria. Ver tabla 5.	Estadística petrolera 2010 Balance Nacional de Energía 2010	
Consideraciones y supuestos			

## 2.4.2 PROCESOS INDUSTRIALES

En esta sección se consideran las emisiones de gases y partículas por las actividades industriales durante la transformación de materias primas y los usos no energéticos de los combustibles. El cálculo de emisiones se realizó según el Nivel 1 de la metodología del EMEP/EEA 2016, usando la siguiente fórmula genérica:

En la siguiente tabla se presentan los diferentes tipos de industria considerados y la variable utilizada para el cálculo, definida como nivel de actividad:

$$\text{Emisiones } i,j = A_j \cdot FE_{i,j} \cdot (1 - \%EC)$$

ECUACIÓN 7

Donde:

$A_j$  = nivel de actividad de la industria  $j$ , producción en toneladas.

$FE_{i,j}$  = factor de emisión del contaminante  $i$  en la industria  $j$ , en kg de contaminante/tonelada de producto.

$\%EC$  = eficiencia de los sistemas de control.

Tabla 6. Nivel de actividad en diferentes industrias

TIPO DE INDUSTRIA	NIVEL DE ACTIVIDAD (EN TONELADAS)
Industria de los minerales	
Cemento	Producción de clinker
Cal	Producción de cal
Asfalto	Producción de asfalto
Industria química	
Amoniaco	Producción de amoniaco
Ácido nítrico	Producción de ácido nítrico
Industria de los metales	
Aluminio	Producción de aluminio
Cobre	Producción de cobre (fundición)
Zinc	Producción de zinc (fundición)
Otras industrias	
Pulpa de Papel	Producción de kraft y proceso al sulfito neutro
Alimentos y bebidas	Producción de cerveza, vino y otros licores, azúcar, margarinas, galletas, cereales y alimentos balanceados para animales



Todos los factores de emisión fueron obtenidos del EMEP/EEA 2016, a excepción de los factores de emisión en los procesos de fundición de cobre y zinc, que se tomaron del AP-42 (1995).

En cuanto a la eficiencia de los sistemas de control, se asumió que todas las cementeras e industrias de los metales usan filtros de mangas para el control de partículas. Así, para el cálculo se tomaron los valores teóricos del Documento de Referencia de Mejores Técnicas disponibles –BREF–, para la industria del cemento, usando filtros de mangas para la remoción de partículas (99,51 % para PM<sub>10</sub> y 99 % para PM<sub>2,5</sub> y BC<sup>35</sup>).

Para las industrias de cobre y zinc se asumió una eficiencia del 90 % en la reducción de partículas por el uso de filtro de mangas.

En cuanto a las emisiones de SO<sub>2</sub> en la fundición de cobre, se realizó el promedio del total de azufre capturado en las plantas de ácido sulfúrico de Southern Peru Copper Corporation, en los meses de diciembre de 2013, enero y

febrero de 2014 (remoción promedio de 95,7 %).

Dicha información fue obtenida del Reporte de Emisiones Atmosféricas y Gaseosas del primer trimestre del año 2014, presentado por la empresa y se asumió que estos valores son representativos para todas las industrias que producen cobre.

Sin embargo, se recomienda, para una futura actualización del inventario, incluir información de las otras empresas que realizan fundición de cobre y considerar el aumento de emisiones por una posible ampliación de la planta de Southern Perú.

Finalmente, para el proceso de fundición de zinc, se asumió un porcentaje de remoción de SO<sub>2</sub> igual a 50 % de acuerdo a lo recomendado por especialistas del SEI, debido a que no ha sido posible obtener información oficial de esta industria.

El resumen de la metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 11. Ficha resumen de metodología: procesos industriales

CATEGORÍA: PROCESOS INDUSTRIALES			
SUBCATEGORÍA: MINERALES, QUÍMICA, METALES, OTRAS INDUSTRIAS			
GENERAL			
Emisiones por las actividades industriales durante la transformación de materias primas y los usos no energéticos de los combustibles.			
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
i = COVNM, CO, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, SO <sub>2</sub>	$Emisiones_{ij} = A_j \cdot FE_{ij} \cdot (1 - \%EC)$	EMEP/EEA 2016, capítulo 2	Por tipo de industria: EMEP/EEA 2016, capítulos 2.A.1, 2.A.2, 2.B, 2.C.3, 2.C.5, 2.D.3.b, 2.D.3.c, 2.H.1, 2.H.2. Para fundición de cobre y zinc se usaron los factores de emisión del AP-42, capítulo 12.
INFORMACIÓN			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
COVNM, CO, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, SO <sub>2</sub>	Producción anual por tipo de industria	Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014 INEI 2010 Estadística Minera/Dirección General de Minería Estadística Nacional ASOCEM <sup>36</sup>	
CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS			

Para estimar la producción de clinker a partir de la producción de cemento, se utilizó una relación clinker/cemento equivalente al 77 %<sup>37</sup>. Factores de emisión detallados se presentan en el anexo 6.1.2.

<sup>35</sup> Se asumió que la eficiencia de remoción de BC con filtros de mangas es igual a la eficiencia de remoción de PM<sub>2,5</sub>, debido a que la mayoría del BC tiene diámetro inferior a 2.5 micrómetros.

<sup>36</sup> <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Indicadores/Indicadores%20jul-15.pdf>

<sup>37</sup> CEMENTIS GMBH, 2017. Oferta, demanda, marco legal del cemento adicionado. Una consultoría en el marco del Proyecto Mecanismos Financieros para un Desarrollo bajo en Carbono – FinanCC Perú (BMZ/USAID), Programa CF Ready.

## 2.4.3 AGRICULTURA Y QUEMA

En este sector se estiman las emisiones en diferentes categorías de uso de la tierra: quema de residuos agrícolas, quema de pastizales y otros usos de la tierra.

### → QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

La quema de residuos agrícolas es una práctica habitual que se realiza con el fin de controlar las plagas en ciertos cultivos y/o limpiar los campos de manera rápida y económica después de la cosecha, facilitando así las actividades de labranza. Sin embargo, es una práctica que afecta negativamente las características fisicoquímicas y biológicas del suelo, generando además emisiones de CCVC y otros contaminantes.

La metodología aplicada para estimar las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COVNM, PM y BC ocasionadas por esta práctica es la misma descrita en la sección de quema de pastizales, debido a que la Ecuación 9 representa el método genérico para estimar las emisiones producidas por el fuego. La masa de residuos agrícolas disponible para combustión (*MR*), por tipo de cultivo (*i*) es ajustada como se muestra a continuación, teniendo en cuenta las recomendaciones del EMEP/EEA 2016:

$$MR_i = A_i \cdot Y_i \cdot R_i \cdot d_i \cdot pb_i \cdot FO$$

ECUACIÓN 8

Donde:

$A_i \cdot Y_i$  = área cultivada (hectáreas), multiplicada por el rendimiento medio del cultivo (tonelada por hectárea). Estas dos variables pueden ser resumidas en una sola, como la producción anual del cultivo *i* en toneladas

$R_i$  = fracción de residuos por cosecha

$d_i$  = fracción de materia seca en el cultivo *i*

$pb_i$  = fracción del residuo quemado en campo

FO = fracción oxidada

Los cultivos considerados en el cálculo fueron arroz, trigo, soya, maíz (duro, choclo y amiláceo), caña de azúcar, algodón, café, frijol, cebada y arveja, debido a su relevancia a nivel nacional y por recomendación de expertos del SEI.

Los factores de emisión de todos los contaminantes por quema de residuos de arroz, maíz, trigo y cebada, se encuentran disponibles en el Nivel 2 del EMEP/EEA 2016.



Para el resto de cultivos se usaron factores de emisión genéricos disponibles en el Nivel 1 de la misma guía.

La fracción de residuos por cosecha  $R_i$  fue tomada del EMEP/EEA 2016 para cultivos de trigo, cebada, maíz, arroz, arvejas, soya y frijol. Para el resto de cultivos, se tomaron los valores de  $R_i$ ,  $d_i$  y  $pb_i$  utilizados en el Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.

El EMEP/EEA 2016 recomienda que para los cultivos sobre los que no se tiene información

específica, se usen los valores por defecto establecidos para el trigo.

Esto se realizó para asignar la fracción oxidada (FO) a cultivos diferentes a la caña de azúcar, arroz y maíz, cuyos valores por defecto se encuentran en el IPCC 2006.

La metodología descrita anteriormente, se encuentra resumida en la siguiente ficha:

Ficha 12: Ficha resumen de metodología: Quema de residuos agrícolas

CATEGORÍA: AGRICULTURA			
SUBCATEGORÍA: QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS			
GENERAL			
Emisiones por la quema de residuos agrícolas en los cultivos de arroz, trigo, soya, maíz (duro, choclo y amiláceo), caña de azúcar, algodón, café, frijol, cebada y arveja.			
Método de estimación de emisiones			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
$j = PM_{10r}, PM_{2.5r}, BC, NOx, SO_{2r}, CO, COVNM$	$Emisiones_j = \sum (MR_i \cdot FE_j \cdot 10^{-3})$ $MR_i = A_i \cdot Y_i \cdot R_i \cdot d_i \cdot pb_i \cdot FO$	Directrices IPCC 2006, volumen 4, capítulo 2.4. $MR_i$ ajustado con metodología EMEP/EEA 2016, capítulo 3.F	Tomados de EMEP/EEA 2016.
Información			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
$PM_{10r}, PM_{2.5r}, BC, NOx, SO_{2r}, CO, COVNM$	Producción anual total nacional del cultivo ( $A_i \cdot Y_i$ ) <sup>a</sup> Fracción de residuos por cosecha (Ri) y fracción de materia seca ( $d_i$ ) <sup>b</sup> Fracción quemada en campo ( $pb_i$ ) <sup>c</sup> Fracción oxidada (FO) <sup>d</sup>	<sup>a</sup> Anuario de Producción Agrícola. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias –SIEA–. <sup>b</sup> EMEP/EEA 2016 y Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014. <sup>c</sup> Dictamen de expertos, Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014. <sup>d</sup> IPCC 2006, volumen 4, capítulo 2	
Consideraciones y supuestos			
Ver factores de emisión detallados en el anexo 6.1.3.			

### → QUEMA DE PASTIZALES

La combustión incompleta de la biomasa en pastizales puede tener un origen natural o antropogénico. En la sierra del Perú, esta es una práctica común en suelos destinados para la agricultura, sin embargo, esta actividad es una fuente de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COVNM y material particulado, incluyendo BC.

Se aplicó la metodología general para estimar las emisiones producidas por el fuego, disponible en el capítulo 2.4 del IPCC 2006, nivel 1:

$$\text{Emisiones}_j = \text{MR} \cdot \text{FE}_j \cdot 10^{-6}$$

ECUACIÓN 9

Donde:

MR = masa disponible para combustión, en toneladas, calculada con la Ecuación 10

FE<sub>j</sub> = factor de emisión de materia seca quemada para el contaminante j en g/kg

10<sup>-6</sup> = factor de conversión de gramos a gigagramos de contaminante.

$$\text{MR} = \text{A} \cdot \text{M}_b \cdot \text{C}_f$$

ECUACIÓN 10

Donde:

A = superficie quemada en hectáreas

M<sub>b</sub> = densidad de biomasa, hojarasca y madera muerta disponible como combustible, en toneladas por hectárea.

C<sub>f</sub> = factor de combustión, es decir, fracción de la biomasa combustible (previa al incendio) que realmente se quema. Tomada de OBP 2000.

Para estimar la superficie total afectada (A) por la quema de biomasa en pastizales a nivel nacional, se multiplicó la superficie total de pastos naturales en el Perú por la fracción de pastos quemados estimada en el dictamen de expertos del Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.

La densidad de biomasa combustible en los pastizales M<sub>b</sub> se reporta en el Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014, para cada una de las 24 regiones del Perú. El valor tomado para efectos de este cálculo fue el promedio (simple) nacional.



Los factores de emisión de todos los contaminantes fueron tomados de *Akagi et al. (2011)*, a excepción del NOx, cuyo factor de emisión se obtuvo de *Yokelson et al. (2011)*. En el estudio de *Akagi et al. (2011)* se realizó una revisión exhaustiva de diferentes artículos académicos en los que se han estimado factores de emisión por quema de

biomasa, entre los que se encuentran la quema de pastizales y quema de bosques tropicales. Es importante aclarar que en el estudio, las partículas entre PM<sub>1</sub> – PM<sub>5</sub> fueron categorizadas como PM<sub>2,5</sub>.

La metodología utilizada se resume en la siguiente ficha:

Ficha 13: Ficha resumen de metodología: Quema de pastizales

CATEGORÍA: AGRICULTURA			
SUBCATEGORÍA: QUEMA DE PASTIZALES			
GENERAL			
Emisiones por la quema de biomasa en pastizales.			
Método de estimación de emisiones			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
j = PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	$Emisiones_j = MR \cdot FE_j \cdot 10^{-3}$ $MR = A \cdot M_b \cdot C_f$	Directrices IPCC 2006, volumen 4, capítulo 2.4.	- NOx: <i>Yokelson et al. (2011)</i> . - Otros: <i>Akagi et al. (2011)</i> .
Información			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BC, NOx, SO <sub>2</sub> , CO, COVNM	Superficie total de pastos naturales <sup>a</sup> . Fracción de pastos quemados anualmente <sup>b</sup> . Masa disponible para combustión M <sub>b</sub> <sup>c</sup> . Factor de combustión C <sub>f</sub> <sup>d</sup>	<sup>a</sup> IV Censo Nacional Agropecuario 2012, INEI. <sup>b</sup> Dictamen de expertos, Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014. <sup>c</sup> Promedio de M <sub>b</sub> por región, de Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014. <sup>d</sup> Tomado de OBP 2000.	
Consideraciones y supuestos			
<ul style="list-style-type: none"> <li>La fracción de pastos naturales quemada anualmente, estimada en el dictamen de expertos, equivale al 20 % del área total.</li> <li>Para el factor de emisión de PM<sub>10</sub> se usó el mismo factor de emisión de PM<sub>2,5</sub> debido a que en <i>Akagi et al. (2011)</i> las partículas PM<sub>1</sub> – PM<sub>5</sub> fueron categorizadas como PM<sub>2,5</sub>.</li> <li>Ver factores de emisión detallados en el anexo 6.1.3.</li> </ul>			

### → QUEMA DE BOSQUES

El Perú cuenta con más de 68 millones de hectáreas de bosques amazónicos, las cuales representan más del 50 % de territorio nacional. La casi totalidad de estos bosques corresponde a la formación de bosque húmedo tropical y subtropical, en donde se encuentran áreas de alta diversidad biológica y zonas con capacidad de almacenar altas cantidades de carbono.

La tala y quema de bosques para el desarrollo de actividades agropecuarias en tierras no aptas, es la principal causa de la deforestación en la Amazonía peruana. Le siguen las presiones demográficas, la minería ilegal y la construcción de vías de acceso<sup>38</sup>.

Así como en la sección de quema de pastizales, se aplicó la metodología general para estimar las emisiones producidas por el fuego, disponible en

el capítulo 2.4 del IPCC 2006, nivel 1, utilizando la Ecuación 9 y la Ecuación 10 del presente documento. Las emisiones por el uso de leña para combustión en el sector residencial y en otros sectores económicos fueron consideradas en el capítulo 2.4.1.

La masa de combustible realmente quemado (el producto de  $M_b$  por  $C_f$  en la Ecuación 10), fue tomada por defecto del IPCC 2006, para la subcategoría de bosque tropical primario húmedo, expresada en toneladas de materia seca<sup>-1</sup>.

La superficie de bosque quemado en hectáreas, fue estimada teniendo en cuenta el área de bosque húmedo amazónico perdida para el año 2010 a causa de la deforestación<sup>39</sup>, y teniendo en cuenta que el 90 % de área total deforestada, es causada por tala y quema<sup>40</sup>.



<sup>38</sup> Ministerio del Ambiente. (2016). Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. La conservación de bosques en el Perú (2011-2016).

<sup>39</sup> "Memoria descriptiva del mapa de bosque/ no bosque año 2000 y mapa de pérdida de los bosques húmedos amazónicos del Perú 2000-2011". Ministerio del ambiente y Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<sup>40</sup> MINAM (2016). La conservación de bosques en el Perú (2011-2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/informessectoriales/wp-content/uploads/sites/112/2016/02/11-La-conservaci%C3%B3n-de-bosques-en-el-Per%C3%BA.pdf>

Finalmente, los factores de emisión de material particulado incluyendo BC fueron obtenidos de *Andreae y Merlet (2001)*, y para el resto de contaminantes de *Akagi et al. (2011)*. Es importante aclarar que en ambos estudios los factores de emisión presentados son un promedio de las

estimaciones realizadas en otras publicaciones para bosque seco y húmedo tropical.

El resumen de la metodología utilizada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 14: Ficha resumen de metodología: Quema de bosques

CATEGORÍA: AGRICULTURA
SUBCATEGORÍA: QUEMA DE BOSQUES
GENERAL

Emissiones por la quema de bosque húmedo tropical.

Método de estimación de emisiones

Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
$j = PM_{10}, PM_{2.5}, BC, NO_x, SO_2, CO, COVNM$	$Emisiones_j = MR \cdot FE_j \cdot 10^{-3}$ $MR = A \cdot M_B \cdot C_f$	Directrices IPCC 2006, volumen 4, capítulo 2.4.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>PM_{10}, PM_{2.5}</math> y BC: <i>Akagi et al. (2011)</i>.</li> <li>- Otros: <i>Andreae y Merlet (2001)</i>.</li> </ul>

Información

Contaminante	Datos de actividad	Fuente
$PM_{10}, PM_{2.5}, BC, NO_x, SO_2, CO, COVNM$	<p>Superficie total nacional de pastos naturales<sup>a</sup>.</p> <p>Fracción de bosques quemados anualmente<sup>b</sup>.</p> <p>Masa de combustible realmente quemado (<math>M_B \cdot C_f</math>)<sup>c</sup>.</p>	<p><sup>a</sup> IV Censo Nacional Agropecuario 2012, INEI.</p> <p><sup>b</sup> Dictamen de expertos, Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.</p> <p><sup>c</sup> IPCC 2006, volumen 4, capítulo 2.4, cuadro 2.4.</p>

Consideraciones y supuestos

- La fracción de pastos naturales quemada anualmente, estimada en el dictamen de expertos, equivale al 20 % del área total.
- Para  $PM_{10}$  se utilizó el factor de emisión de Material Particulado Total –TPM–.
- Ver factores de emisión detallados en el anexo 6.1.3.

## 2.4.4 DESECHOS

### → QUEMA A CIELO ABIERTO

La quema de residuos sólidos a cielo abierto es una práctica común en las zonas rurales del Perú, a pesar de estar prohibida desde el 2004 según lo establecido en el reglamento de la Ley n.º 27314, Ley General de Residuos Sólidos, aprobado según Decreto Supremo n.º 057-2004-PCM<sup>43</sup>. Para estimar las emisiones de gases y partículas, se utilizó la fórmula descrita en el Nivel 1 de las directrices del IPCC 2006 para el cálculo de emisiones de CH<sub>4</sub> y se aplicó la misma fórmula para todos los contaminantes criterio:

$$CC_j = IE \cdot PT \cdot \%C_j$$

ECUACIÓN 11

Donde:

RSM<sub>Q</sub> = cantidad de residuos sólidos quemados a cielo abierto

FE<sub>i</sub> = factor de emisión del contaminante i

Para estimar la cantidad de residuos sólidos municipales que son quemados a cielo abierto, se utilizó la siguiente ecuación, también descrita en el IPCC 2006:

$$RSM_Q = P \cdot P_f \cdot GPC \cdot F_Q$$

ECUACIÓN 12

Donde:

P = población total

P<sub>f</sub> = fracción de la población que quema basura

GPC = generación per cápita de residuos sólidos municipales

F<sub>Q</sub> = fracción de la cantidad de residuos que se quema a cielo abierto respecto a la cantidad total de residuos generada.



<sup>43</sup>El 23 de diciembre de 2016 se aprobó la nueva ley de gestión integral de residuos sólidos según Decreto Legislativo n.º 1278, y el 21 de diciembre de 2017 se aprobó su reglamento mediante el Decreto Supremo n.º 014-2017 –MINAM, el cual recoge la prohibición de quema de residuos sólidos en general establecida anteriormente.

Debido a que no existen estadísticas oficiales sobre la quema de residuos a cielo abierto, se tomó la misma suposición del SNAP de México<sup>42</sup>, asumiendo que el 40 % de los residuos generados en zonas rurales son quemados a cielo abierto. Así,  $P_F$  hace referencia a la fracción de la población que vive en zonas rurales en Perú y  $F_Q$  es igual a 40 %. Los factores de emisión de CO, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> y BC fueron obtenidos de *Akagi et al. (2011)*, donde se asume 40 % (en masa) de contenido de carbono orgánico en

la basura. El factor de emisión utilizado para NOx fue el promedio reportado por *Yokelson et al. (2011)* y AP-42 (1995). El factor de emisión de PM<sub>10</sub> fue obtenido de *Woodall et al. (2012)*. Es importante aclarar que, en el estudio, las partículas PM<sub>1</sub> – PM<sub>5</sub> fueron categorizadas como PM<sub>2,5</sub>.

El resumen de la metodología aplicada se presenta en la siguiente ficha:

Ficha 15: Ficha resumen de metodología: Quema a cielo abierto

CATEGORÍA: DESECHOS			
SUBCATEGORÍA: QUEMA A CIELO ABIERTO			
GENERAL			
Emisiones por la quema de residuos sólidos municipales a cielo abierto.			
Método de estimación de emisiones			
Contaminante	Metodología	Fuente de metodología	Fuente de factores de emisión
$i = PM_{10}, PM_{2,5}, BC, NOx, COVNM, CO, SO_2$	Emisiones <sub>i</sub> = RSM <sub>Q</sub> • FE <sub>i</sub> RSM <sub>Q</sub> = P • P <sub>F</sub> • GPC • F <sub>Q</sub>	Directrices IPCC 2006, Nivel 1, volumen 5, capítulo 5.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NOx: Promedio de <i>Yokelson et al. (2011)</i> y AP-42 (1995).</li> <li>- PM<sub>10</sub>: <i>Woodall et al. (2012)</i>.</li> <li>- Otros: <i>Akagi et al. (2011)</i>.</li> </ul>
Información			
Contaminante	Datos de actividad	Fuente	
$i = PM_{10}, PM_{2,5}, BC, NOx, COVNM, CO, SO_2$	Población rural <sup>a</sup> Fracción de residuos quemada al aire libre <sup>b</sup> Generación per cápita de residuos sólidos municipales <sup>c</sup>	<sup>a</sup> INEI 2010 <sup>b</sup> SNAP México <sup>c</sup> Diagnóstico de residuos sólidos en Perú (2013)	
Consideraciones y supuestos			

Se asumió que el 40 % de los residuos generados en zonas rurales son quemados a cielo abierto.

Ver factores de emisión detallados en el anexo 6.1.4.

<sup>44</sup> Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment (2013). Informe final: Apoyo a la Iniciativa de Planificación Nacional sobre Contaminantes Climáticos de Vida Corta en México.



# 3

## **RESULTADOS DE EMISIONES DE CCVC Y CONTAMINANTES CRITERIO**

# 3.1

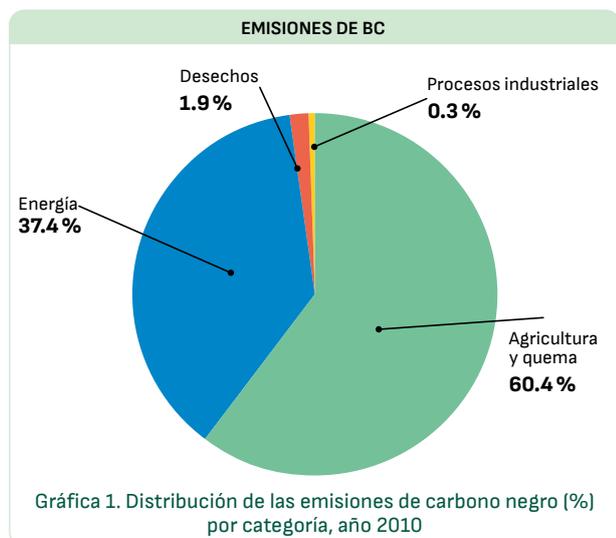
## RESUMEN DEL INVENTARIO NACIONAL

Las emisiones de CCVC y contaminantes criterio por fuente de emisión, en Gigagramos, para el año 2010, se presentan en la siguiente tabla:

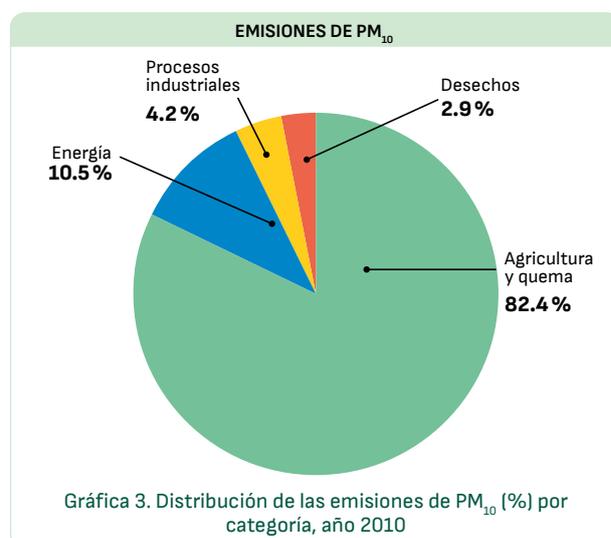
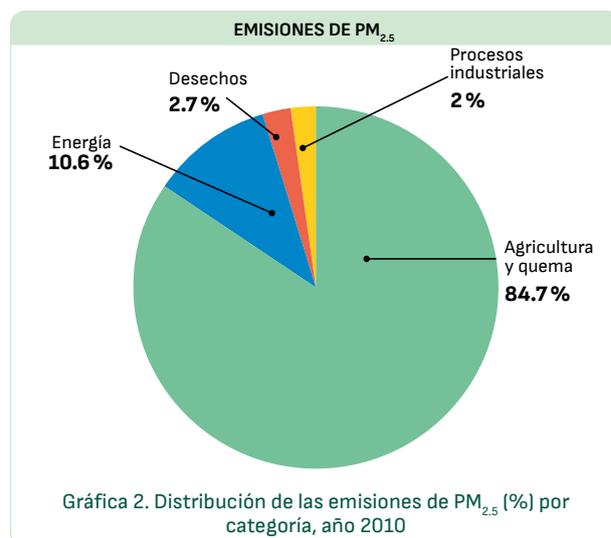
Tabla 7. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por fuente de emisión a nivel nacional, año 2010

CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
<b>TOTAL DE EMISIONES NACIONALES</b>	<b>32,34</b>	<b>331,26</b>	<b>377,76</b>	<b>412,87</b>	<b>268,81</b>	<b>3972,40</b>	<b>1069,39</b>
<b>ENERGÍA</b>	<b>12,11</b>	<b>35,10</b>	<b>39,77</b>	<b>274,86</b>	<b>111,39</b>	<b>1116,67</b>	<b>385,58</b>
<b>Industrias de la energía</b>	0,03	0,67	0,83	13,56	29,05	4,11	0,36
Generación de energía eléctrica	0,02	0,56	0,70	9,87	21,90	3,37	0,24
Refinación de petróleo	0,002	0,03	0,03	2,64	0,02	0,46	0,10
Producción de combustibles sólidos	0,005	0,08	0,10	1,05	7,13	0,28	0,02
<b>Industrias de manufactura y construcción</b>	1,00	4,89	5,16	28,19	44,77	52,88	6,10
Industria ladrillera	0,40	1,62	1,68	1,27	4,84	27,96	2,21
Minero metalúrgico	0,20	0,59	0,62	9,12	4,58	3,49	0,73
Otras industrias	0,40	2,68	2,86	17,80	35,35	21,43	3,16
<b>Transporte</b>	4,50	8,92	8,97	215,38	18,12	533,63	61,65
Terrestre	4,37	8,05	8,05	201,71	13,33	511,62	54,93
Aviación nacional	0,03	0,04	0,04	2,69	1,75	1,38	0,20
Ferroviario	0,02	0,04	0,04	1,64	0,08	0,33	0,06
Marítima y fluvial	0,08	0,79	0,84	9,34	2,96	20,30	6,46
<b>Residencial</b>	5,99	19,10	23,24	12,36	1,72	518,67	167,63
<b>Otros</b>	0,47	1,50	1,56	4,75	8,22	6,45	3,15
Agricultura y pesca	0,31	1,01	1,05	2,98	7,20	4,25	2,06
Comercial y servicios públicos	0,16	0,49	0,51	1,77	1,02	2,20	1,09
<b>Fugitivas</b>	0,12	-	-	0,62	9,52	0,93	146,69
Combustibles sólidos	-	-	-	-	-	-	-
Petróleo y gas natural	0,12	-	-	0,62	9,52	0,93	146,69
<b>PROCESOS INDUSTRIALES</b>	<b>0,09</b>	<b>6,47</b>	<b>15,83</b>	<b>0,73</b>	<b>142,11</b>	<b>0,50</b>	<b>17,53</b>
Cemento	0,03	0,01	0,01	-	1,92	-	-
Cal	-	0,25	1,26	-	-	-	-
Asfalto	-	0,10	0,74	-	-	0,001	0,01
Amoniaco	-	-	-	0,01	-	0,07	0,04
Ácido Nítrico	-	-	-	0,64	-	-	-
Aluminio	-	0,04	0,05	0,003	0,02	0,20	-
Cobre (fundición)	0,06	6,04	7,20	-	28,53	-	0,01
Zinc (fundición)	-	-	6,54	-	111,56	-	-
Pulpa y papel	0,00	0,03	0,03	0,08	0,08	0,23	0,09
Alimentos y bebidas	-	-	-	-	-	-	17,38
<b>AGRICULTURA Y QUEMA</b>	<b>19,55</b>	<b>280,6</b>	<b>311,1</b>	<b>132,73</b>	<b>14,85</b>	<b>2 819,98</b>	<b>659,32</b>
Fermentación entérica	-	-	-	-	-	-	-
Manejo de estiércol	-	-	-	-	-	-	-
Cultivos de arroz	-	-	-	-	-	-	-
Quema de residuos agrícolas	2,48	26,53	27,98	11,23	2,18	316,78	6,91
Quema de sabanas (pastos)	3,37	65,21	65,21	40,56	4,37	572,99	112,78
Quema de bosques	13,70	188,87	217,93	80,94	8,30	1930,21	539,63
<b>DESECHOS</b>	<b>0,60</b>	<b>9,09</b>	<b>11,04</b>	<b>4,55</b>	<b>0,46</b>	<b>35,26</b>	<b>6,96</b>
Disposición de residuos sólidos	-	-	-	-	-	-	-
Quema a cielo abierto	0,60	9,09	11,04	4,55	0,46	35,26	6,96
Aguas residuales domésticas	-	-	-	-	-	-	-
Efluentes industriales	-	-	-	-	-	-	-

Los resultados de la tabla se resumen a continuación, de forma porcentual, en las cuatro categorías de emisión principales:



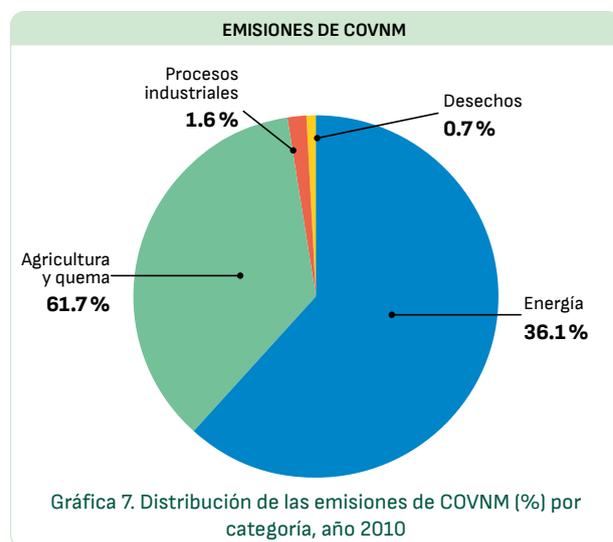
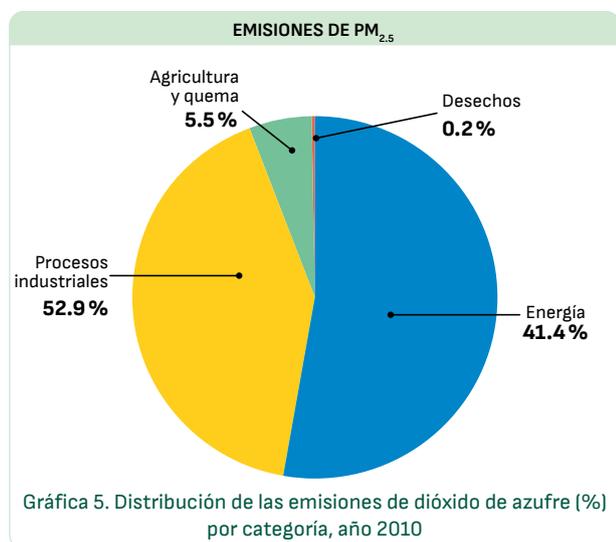
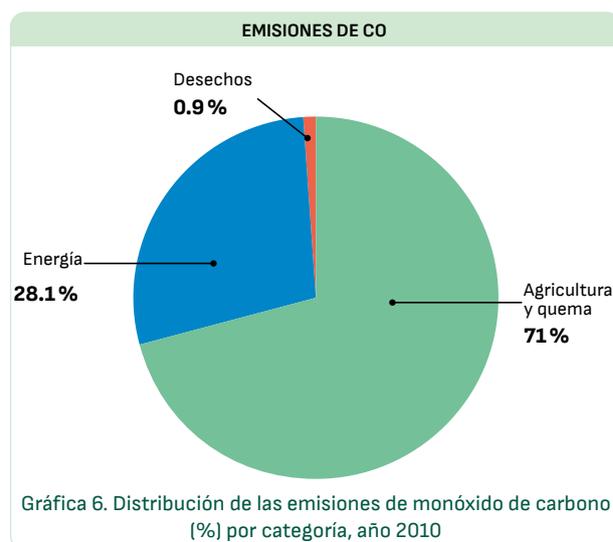
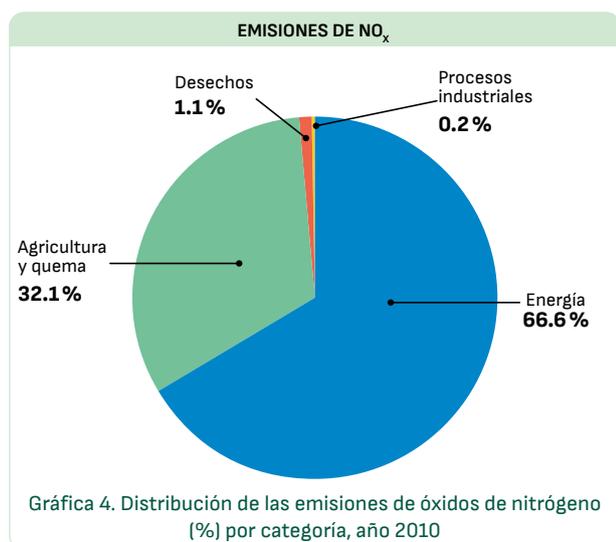
Las principales fuentes de emisión de BC, de acuerdo con la gráfica, se encuentran en la categoría de *agricultura y quema*, específicamente por la quema de bosques (ver tabla 7), la cual fue responsable de la emisión de 13,7 Gg. La segunda fuente de emisión de BC se encuentra en el sector residencial por el uso de leña en hogares rurales para la cocción de alimentos, seguido del transporte terrestre como tercera fuente de emisión, ambos en la categoría de *Energía* y emitiendo 5,99 y 4,37 Gg, respectivamente.



En la categoría de agricultura y quema se encuentran las principales fuentes de emisión de partículas, tanto de  $PM_{2.5}$  como de  $PM_{10}$  en el siguiente orden: quema de bosques, quema de pastizales y quema de residuos agrícolas (ver tabla 7). Aunque esta categoría representa más del 80 % de las emisiones de partículas de acuerdo con las gráficas, analizando el detalle de la tabla 7, existen otras fuentes de emisión relevantes en las categorías de *Energía* y *Desechos*. En la categoría de *Energía*, la principal fuente de emisión de partículas es el sector residencial, debido al uso de leña y otra biomasa para la cocción de alimentos en los hogares rurales del Perú. En la categoría de *Desechos*, la quema de residuos sólidos a cielo abierto también representa una fuente importante de emisión de partículas. Es importante destacar que todas las fuentes de emisión mencionadas se presentan en su gran mayoría en el sector rural, por lo tanto, al realizar un análisis a nivel local en la zona urbana (donde se encuentra concentrada más del 70 % de la población), el transporte terrestre se convertiría en una fuente de emisión relevante.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno se concentran en la categoría de *Energía*. De acuerdo con la tabla 7, la principal fuente de emisión es el transporte terrestre, que representa aproximadamente el 50 % de las emisiones con 201,7 Gg en el año 2010. Le sigue la quema de bosques en la categoría de *Agricultura y quema*, donde se estimaron emisiones de 80,9 Gg al año, equivalente al 20 % del total nacional. Otras fuentes de emisión importantes son la quema de pastizales y la quema de residuos agrícolas en la misma categoría.

En cuanto a las emisiones de dióxido de azufre, se obtuvo que los procesos industriales (por transformación de materia prima y uso no energético de los combustibles) son la principal fuente de emisión, emitiendo 142 Gg al año 2010, equivalente al 52,9 % de las emisiones nacionales. La demanda de combustibles en las industrias de manufactura y construcción y la generación de energía eléctrica, son otras fuentes de emisión relevantes, pertenecientes a la categoría de *Energía*.





Las fuentes de monóxido de carbono más importantes a nivel nacional son la quema de bosques y la quema de pastizales en la categoría de *Agricultura y quema*, con 1930 Gg y 573 Gg emitidos en el año 2010, respectivamente. En la categoría de *Energía*, el sector residencial y el transporte terrestre, se consideran fuentes de emisión relevantes, emitiendo 518,7 Gg (13,1 %) y 511,6 Gg (12,9 %), respectivamente.

Finalmente, se obtuvo que la mayor fuente de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos a nivel nacionales la quema de bosques en la categoría de *Agricultura y quema*, sus emisiones de 539,6 Gg

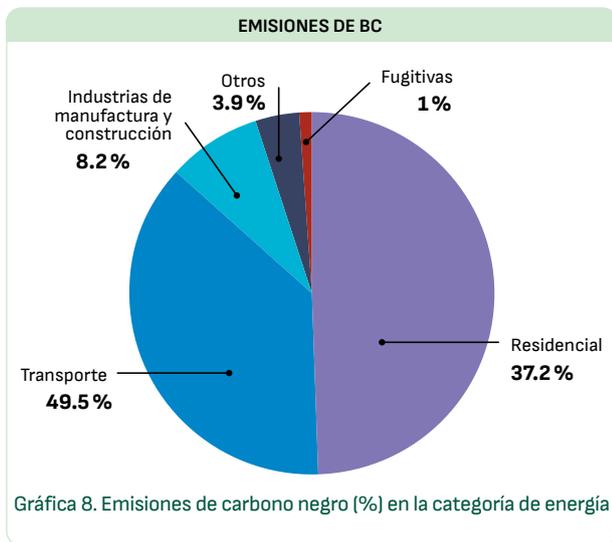
al 2010 corresponden al 50,5 % del total nacional. El sector residencial es la segunda fuente, con emisiones estimadas en 167,6 Gg y las emisiones fugitivas por la extracción y procesamiento de petróleo y gas natural se posicionan como la tercera fuente, emitiendo 146,7 Gg (13,7 %) al año 2010. Ambas fuentes de emisión pertenecen a la categoría de energía.

Los resultados detallados por cada categoría y subcategoría de emisión se presentan en las siguientes secciones, haciendo énfasis especial en las fuentes en las que se identificó un mayor nivel de emisión para el año 2010.

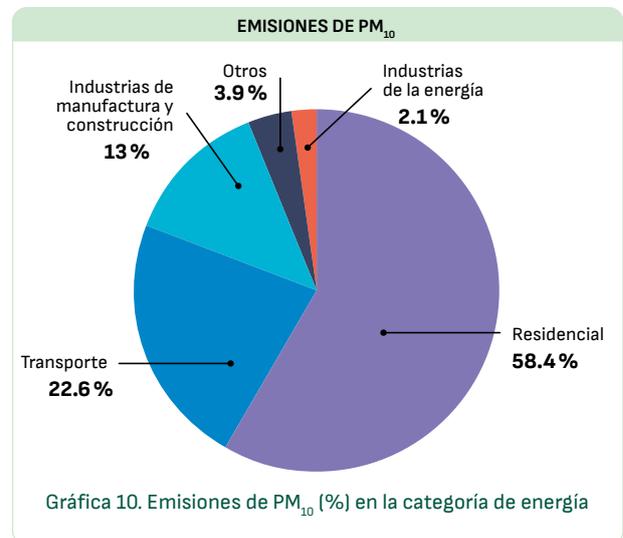
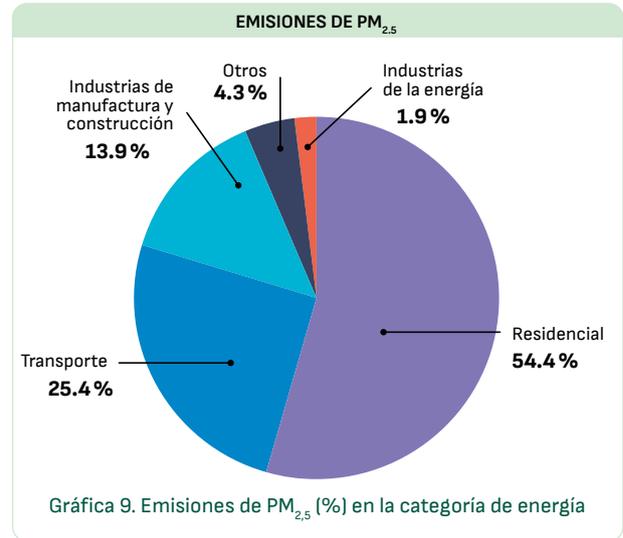
# 3.2 EMISIONES DE CCVC Y CONTAMINANTES CRITERIO POR CATEGORÍA

## 3.2.1 ENERGÍA

Los valores de la tabla 7 se presentan porcentualmente en las siguientes gráficas para la categoría de Energía, donde se observa la relevancia de cada subcategoría en las emisiones de cada contaminante:

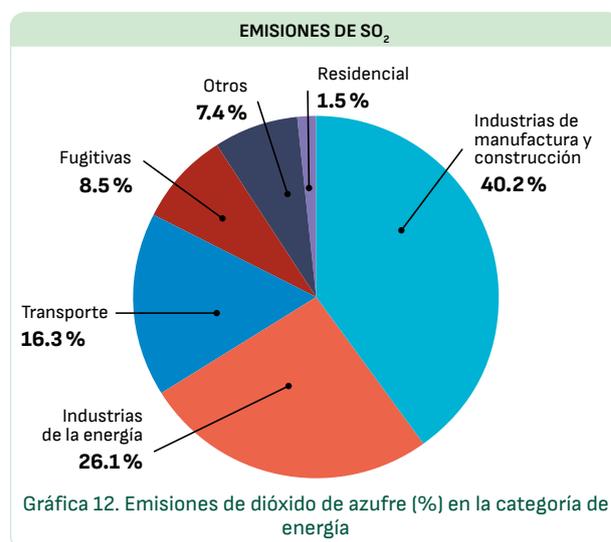
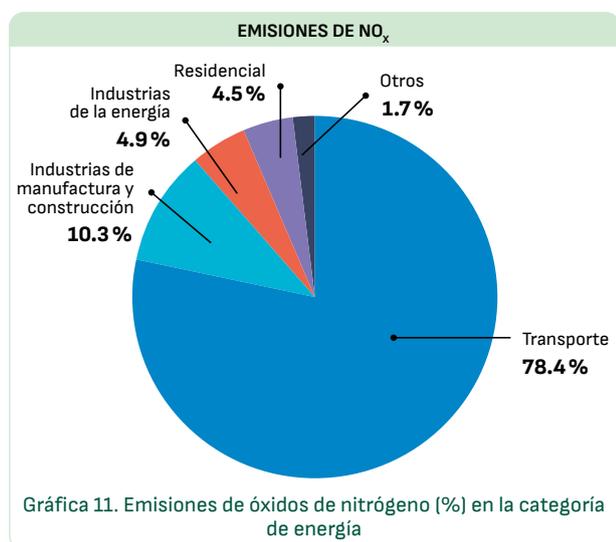


El sector residencial es la principal fuente de emisión de carbono negro, con aproximadamente el 50 % de participación en el sector energético por el uso de leña en hogares rurales para la cocción de alimentos. El 37,2 % de las emisiones se atribuyen al transporte, específicamente por el uso de diésel en el transporte terrestre (análisis detallado en la tabla 9). El sector económico de las industrias de manufactura y construcción aporta el 8,2 % de las emisiones, sin embargo, de acuerdo con la tabla 7, es interesante notar que solo la industria ladrillera representa el 40 % de dichas emisiones, es decir que emite la misma cantidad de BC que emiten las “otras industrias” del Perú, mientras que las industrias minero metalúrgicas emiten el 20 % restante.



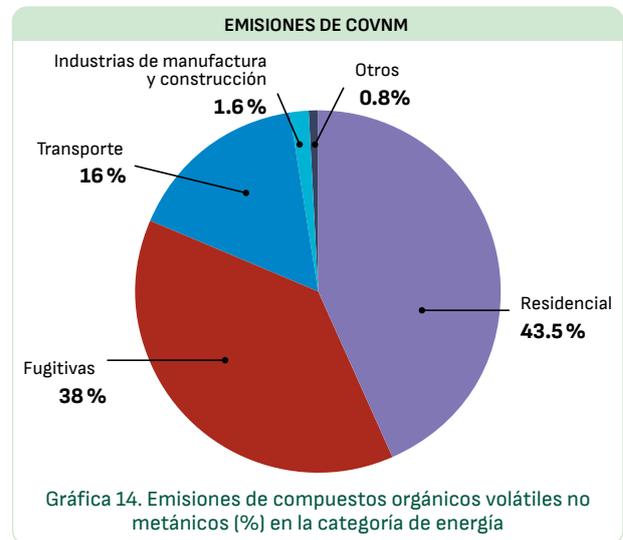
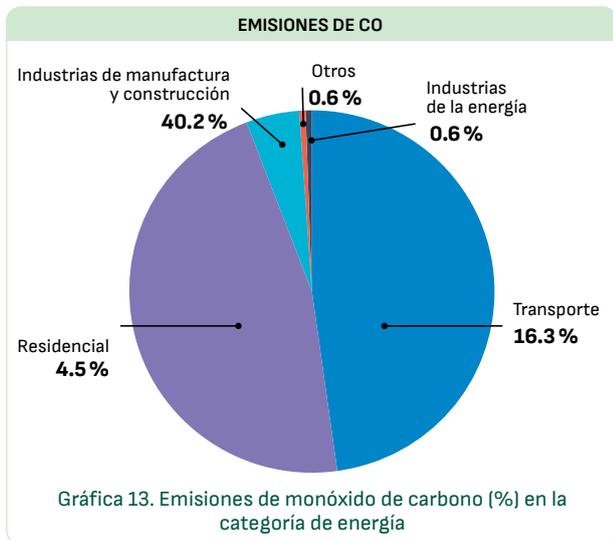
El panorama de las emisiones de material particulado en el sector energético es muy similar al de BC, debido a que este es una fracción del  $PM_{2,5}$  y este a su vez hace parte del  $PM_{10}$ . La principal fuente de emisión es el sector residencial por el uso de leña para la cocción de alimentos (54,4 % de las emisiones de  $PM_{2,5}$  y 58,4 % de las emisiones de  $PM_{10}$ ), seguido del transporte terrestre por el uso de diésel en vehículos comerciales ligeros y vehículos pesados (ver tabla 9), el cual aporta más del 20 % a las emisiones de partículas finas. Las industrias de manufactura y construcción son responsables de más del 13 %. Una vez más, analizando en detalle esta subcategoría en la tabla 7, se puede observar que solo la industria ladrillera emite una fracción importante de partículas (aproximadamente el 30 %), mientras que las "otras industrias" del Perú emiten aproximadamente el 50 %.

El sector transporte representa el 78,4 % de las emisiones de óxidos de nitrógeno en el Perú, en la categoría de energía, siendo el transporte terrestre el más relevante. Las industrias de manufactura y construcción e industrias de la energía se posicionan en el segundo y tercer lugar, como fuentes principales de NOx. Esto se explica por las altas temperaturas que alcanzan hornos y calderas en diferentes procesos industriales. En el sector residencial, las emisiones de NOx se deben al uso de leña para la cocción de alimentos.



Las emisiones de dióxido de azufre en el sector energético del Perú se atribuyen principalmente al uso de combustibles en las industrias de manufactura y construcción (40,2 %) y a las industrias de la energía (26,1 %), especialmente por la generación de energía eléctrica (ver tabla 7). El transporte terrestre emite aproximadamente el 16 % del SO<sub>2</sub> a nivel nacional y las emisiones fugitivas (específicamente por la refinación de petróleo) representan el 8,5 %. Las emisiones de SO<sub>2</sub> por el uso de combustibles líquidos fueron estimadas considerando el porcentaje de azufre en los combustibles del Perú, para combustibles sólidos se usaron factores de emisión por defecto establecidos en las guías.

El uso de gasolina en las diferentes modalidades de transporte (especialmente transporte terrestre) es la principal fuente de emisión de monóxido de carbono a nivel nacional del sector energético, pues se le atribuyen el 47,8 % de las emisiones. El uso de combustibles fósiles y biomasa en el sector residencial continúa siendo una de las fuentes de emisión principales de todos los contaminantes considerados en este análisis. En este caso, emite el 46,4 % del CO de todo el sector. Aunque las industrias de manufactura y construcción emiten solo el 4,7 % del CO, es interesante observar en la tabla 7 que la industria ladrillera emite más CO que el resto del sector industrial junto (minero metalúrgico y otras industrias).



En el sector energético, los compuestos orgánicos volátiles no metánicos son emitidos principalmente por el sector residencial (43,5 %). La segunda fuente de COVNM son las emisiones fugitivas, provenientes de la extracción, procesamiento y distribución de petróleo y gas natural (38 %). El sector transporte es responsable del 16 % de las emisiones en el sector energético, principalmente por el uso de gasolina en los vehículos de transporte terrestre.

De acuerdo con las gráficas presentadas anteriormente y la tabla 7, las principales fuentes de emisión de contaminantes en la categoría de *Energía* son la industria ladrillera, el transporte terrestre y el sector residencial, por lo tanto, serán analizados en mayor detalle a continuación.

Los resultados específicos de las emisiones en la industria ladrillera, por tipo de horno, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio en la industria ladrillera, por tipo de horno, en Gg

LADRILLERA – CCVC Y CONTAMINANTES CRITERIO – (GG/AÑO)							
Tipo de horno	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOx	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Artesanal	0,3026	1,2545	1,3061	0,5340	4,0133	24,9429	1,5252
Túnel	0,0345	0,1438	0,1531	0,3961	0,6438	1,7350	0,2052
Hoffman	0,0626	0,2198	0,2252	0,3394	0,1827	1,2820	0,4785
Colmena	0,0001	0,0001	0,0001	0,0037	0,0003	0,0005	0,0002
<b>Total</b>	<b>0,40</b>	<b>1,62</b>	<b>1,68</b>	<b>1,27</b>	<b>4,84</b>	<b>27,96</b>	<b>2,21</b>



En la tabla anterior se observa que las emisiones de contaminantes más elevadas son producidas en hornos artesanales. Estas son ocasionadas principalmente por el uso de leña y otra biomasa como combustible principal, mientras que en los hornos tipo Túnel y Hoffman, el combustible predominante es el gas natural. Otra de las razones por las que las emisiones son más elevadas en hornos artesanales, es su alto consumo específico de energía (MJ por kilogramo de ladrillo producido), pues como se observa en la tabla 3, dicho consumo es aproximadamente tres veces superior en comparación con los hornos Túnel y Hoffman. Las bajas emisiones del horno

tipo colmena se deben a la baja producción en este tipo de hornos. En el anexo 6.1.1 (gráfica 29, gráfica 30, gráfica 31 y gráfica 32) se presenta en mayor detalle el tipo de combustible y proporción utilizada en cada tipo de horno.

Ahora bien, para el análisis de emisiones en el transporte terrestre, en la tabla 9 y la tabla 10 se presentan las emisiones por tipo de combustible y por categoría vehicular respectivamente, a excepción del NO<sub>x</sub>, cuyas emisiones se presentan en la tabla 11 debido a que estas dependen del tipo de tecnología y no del tipo de combustible o categoría vehicular.

Tabla 9. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por tipo de combustible, en Gg

TIPO DE COMBUSTIBLE	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Diésel B2	3,06	5,54	5,54	7,16	35,17	10,80
Diésel S50	1,28	2,30	2,30	0,14	14,69	4,48
Gasolina	0,03	0,17	0,17	5,94	433,29	35,64
GNV	-	0,02	0,02	0,05	12,35	0,74
GLP	-	0,01	0,01	0,03	16,11	3,26
<b>Total</b>	<b>4,37</b>	<b>8,05</b>	<b>8,05</b>	<b>13,33</b>	<b>511,63</b>	<b>54,93</b>



De acuerdo con la tabla anterior, la gasolina es el combustible responsable de las altas emisiones de CO y COVNM. Sin embargo, el diésel es la mayor fuente de emisión de material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ) y BC, y es la segunda fuente de emisión de CO y COVNM. El  $SO_2$  es emitido principalmente por el uso de diésel y gasolina. Dichas emisiones fueron calculadas teniendo en

cuenta el porcentaje de azufre en los combustibles. Aunque las emisiones de contaminantes por el uso de GLP son relativamente bajas, es importante tener en cuenta que este es el combustible menos utilizado por los vehículos con mayor kilometraje (camionetas, ómnibus y camión) y no es utilizado por camiones, remolcadores y motos.

Tabla 10. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio por categoría vehicular, en Gg

CATEGORÍA VEHICULAR	BC	$PM_{2,5}$	$PM_{10}$	$SO_2$	CO	COVNM
Automóvil particular	0,01	0,03	0,03	0,92	113,16	10,56
Taxi	0,08	0,17	0,17	1,78	58,03	5,84
Station wagon	0,25	0,46	0,46	0,87	42,01	4,54
Rural	0,09	0,14	0,14	0,81	24,87	2,43
Pick-up	0,50	0,61	0,61	3,20	5,07	0,82
Panel	0,04	0,05	0,05	0,30	2,52	0,16
Camión	0,91	1,70	1,70	2,45	13,43	3,93
Ómnibus	2,13	4,16	4,16	0,81	28,27	8,98
Remolcador	0,34	0,60	0,60	0,47	4,49	1,30
Motos	0,02	0,14	0,14	1,72	219,78	16,37
<b>Total</b>	<b>4,37</b>	<b>8,05</b>	<b>8,05</b>	<b>13,33</b>	<b>511,63</b>	<b>54,93</b>

Analizando las emisiones por categoría vehicular se observa que el ómnibus es la mayor fuente de emisión de material particulado, incluyendo BC, debido a que más del 90 % de la flota usa diésel como combustible principal. En cuanto a las emisiones de  $SO_2$ , se estima que las camionetas pick-up, camiones, taxis y motos son las principales fuentes de emisión. Finalmente, las mayores emisiones de CO y COVNM se atribuyen a motos y automóviles particulares, debido al extendido

uso de gasolina en estas categorías vehiculares. Información detallada sobre la distribución de consumo de combustible por categoría vehicular se presenta en la tabla 20 de anexo 6.1.1.

Las emisiones de  $NO_x$  dependen del tipo de tecnología, más que del tipo de combustible, por lo tanto, la siguiente tabla presenta el aporte de  $NO_x$  por tipo de tecnología.

Tabla 11. Emisiones de  $NO_x$  en Gg, por tipo de tecnología

TECNOLOGÍA	EMISIONES DE $NO_x$
Pre-Euro	141,71
Euro I	13,53
Euro II	20,34
Euro III	26,12
<b>Total*</b>	<b>201,71</b>

De acuerdo con la tabla anterior, las tecnologías Pre-Euro son la principal fuente de emisión de NOx (70 %), seguido de Euro III y Euro II. Aunque el factor de emisión es más elevado con tecnologías Pre-Euro y Euro I, las tecnologías Euro II y Euro III han empezado a diversificar el mercado en los últimos años.

Finalmente, las emisiones por tipo de combustible en el sector residencial, específicamente por la cocción de alimentos, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio en el sector residencial, en Gg

TIPO DE COMBUSTIBLE	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOX	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Cocinas tradicionales – leña	5,80	16,44	20,55	10,75	0,88	469,57	137,55
Cocinas tradicionales – carbón vegetal	0,06	0,15	0,15	0,02	0,02	8,59	1,11
Cocinas tradicionales – otra biomasa	0,09	2,23	2,23	0,45	0,65	29,66	17,99
Cocinas mejoradas –leña	0,04	0,09	0,12	0,04	0,01	2,11	0,09
Kerosene	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,03	0,00
GLP	0,01	0,18	0,19	1,08	0,12	8,63	10,89
Gas natural	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00
<b>Total</b>	<b>5,99</b>	<b>19,10</b>	<b>23,24</b>	<b>12,36</b>	<b>1,72</b>	<b>518,67</b>	<b>167,63</b>

De acuerdo con la tabla, las mayores emisiones de CCVC y otros contaminantes criterio se deben al uso de leña como principal combustible en cocinas tradicionales. Esta situación es típica en hogares de las zonas rurales del Perú. En términos energéticos, la leña es el combustible que más se utiliza para cocinar, seguido del GLP, sin embargo, se observa que las emisiones de este último son bastante

bajas en comparación con otros combustibles, a excepción de las emisiones de COVNM. La bosta y yareta, categorizados como *otra biomasa* en esta sección, son la segunda fuente de emisión más importante en el sector residencial y el tercer combustible más utilizado, en términos energéticos. La demanda de combustibles utilizada para realizar el cálculo se presenta en la tabla 24 del anexo 6.1.1.

### 3.2.2 PROCESOS INDUSTRIALES

En la siguiente tabla se presentan los resultados de emisiones de CCVC y contaminantes criterio por las actividades en diferentes tipos de industria durante

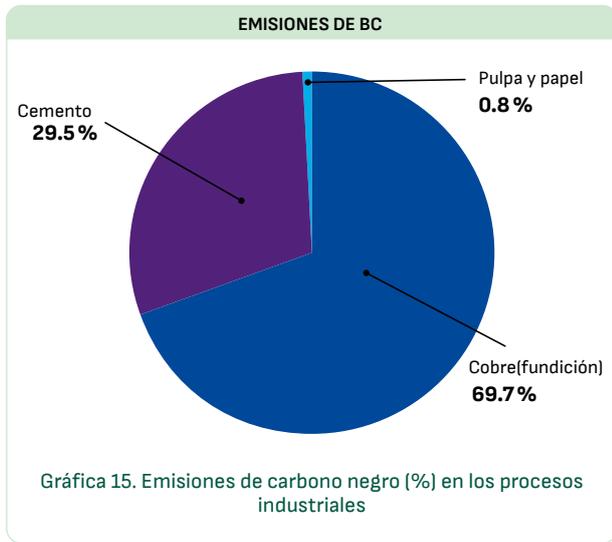
la transformación de materias primas y los usos no energéticos de los combustibles, considerando la eficiencia de los sistemas de control:

Tabla 13. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio, por tipo de industria, en Gg

FUENTE DE EMISIÓN	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOX	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Cemento	0,026	0,008	0,007	-	1,917	-	-
Cal	-	0,251	1,257	-	-	-	-
Asfalto	-	0,100	0,738	-	-	0,001	0,012
Amoniaco	-	-	-	0,009	0,000	0,071	0,042
Ácido nítrico	-	-	-	0,640	-	-	-
Aluminio	-	0,039	0,054	0,003	0,022	0,195	-
Cobre (fundición)	0,060	6,040	7,198	-	28,530	-	0,009
Zinc (fundición)	-	-	6,537	-	111,556	-	-
Pulpa y papel	0,001	0,025	0,034	0,079	0,084	0,231	0,088
Alimentos y bebidas	-	-	-	-	-	-	17,377
<b>Total</b>	<b>0,087</b>	<b>6,465</b>	<b>15,825</b>	<b>0,732</b>	<b>142,109</b>	<b>0,498</b>	<b>17,528</b>

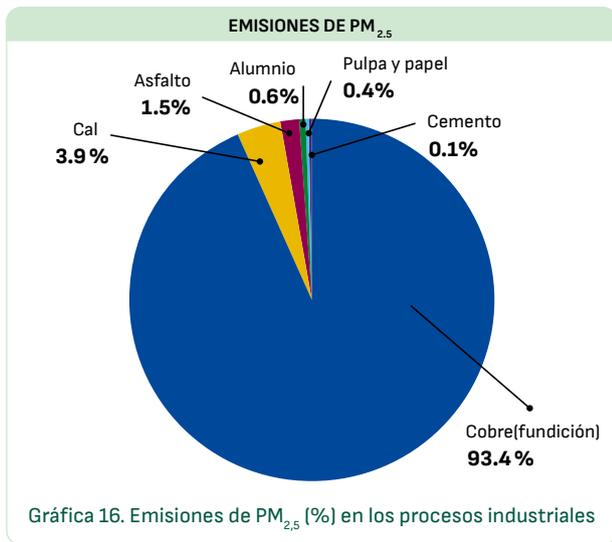


Los valores de la tabla se presentan porcentualmente en las siguientes gráficas, donde se observa la relevancia de cada tipo de industria en las emisiones de cada contaminante:



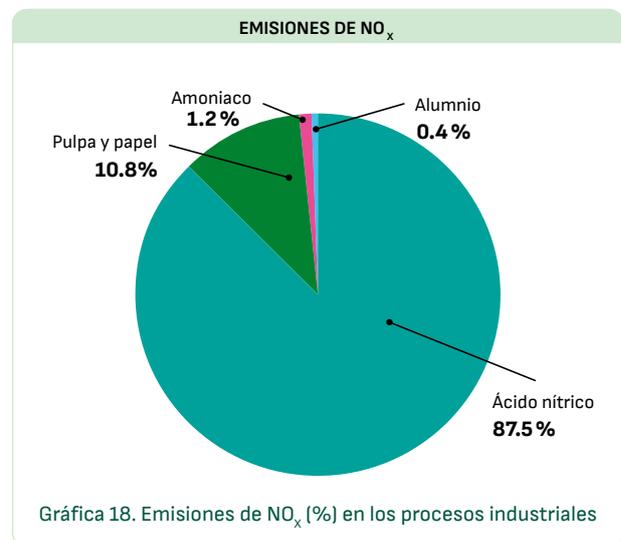
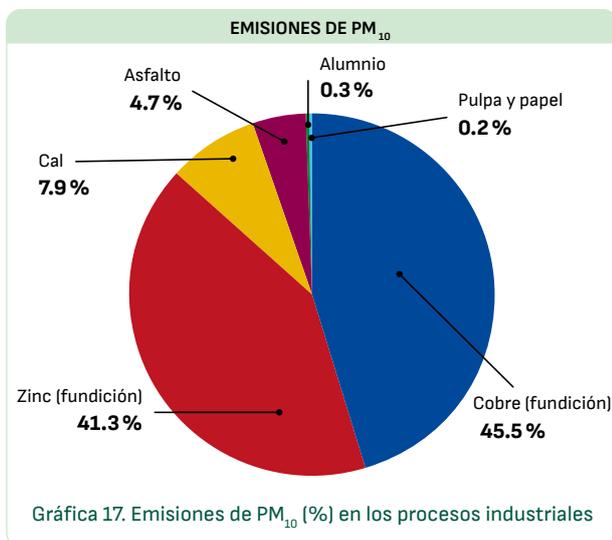
Analizando las tres gráficas anteriores, se estima que la fundición de cobre es la primera fuente de emisión de material particulado (incluyendo el BC) en los procesos industriales. Es responsable del 69,7 % de las emisiones de BC, del 93,4 % de las emisiones de  $PM_{2.5}$  y del 45,5 % de las emisiones de  $PM_{10}$ . La industria del cemento es la segunda fuente de emisión de BC, con el 29,5 %. Es importante hacer énfasis en que las emisiones en este apartado hacen referencia a la transformación de materia prima y uso no energético de los combustibles. Adicionalmente, se supuso que los filtros de manga instalados en la industria del cobre y el cemento operan bajo una eficiencia superior al 90 %.

La producción de cal es la segunda fuente de emisión de  $PM_{2.5}$  y la tercera fuente de emisión de  $PM_{10}$ . En valor absoluto de dichas emisiones es relativamente bajo teniendo en cuenta que en este tipo de industria no se tuvieron en cuenta los sistemas de control por falta de información.



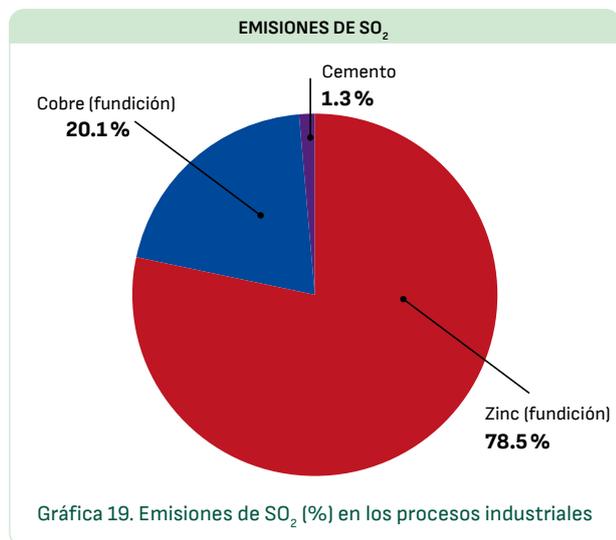
La fundición de zinc es la segunda fuente de emisión de  $PM_{10}$ , siendo responsable del 41,3 % de las emisiones. Esta industria no fue considerada en las emisiones de  $PM_{2.5}$  y BC debido a que no hay factores de emisión disponibles para estos contaminantes.

En términos generales, las industrias de los metales y los minerales son las fuentes de emisión de partículas más relevantes.

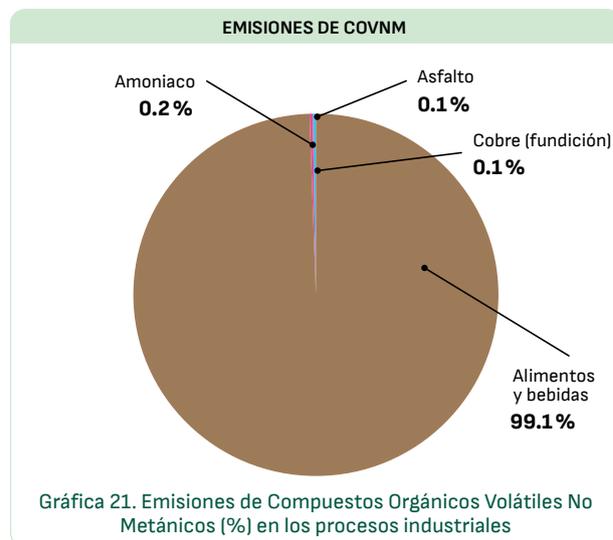


Actualmente, muchas plantas de producción de ácido nítrico incluyen operaciones de recuperación de óxidos de nitrógeno, sin embargo, por falta de información oficial esto no fue incluido en el inventario. Por lo tanto, en los procesos industriales, la producción de ácido nítrico es la primera fuente de emisión de NOx con 87,5 %. La producción de pulpa y papel es responsable del 10,8 % de las emisiones, especialmente por el proceso kraft.

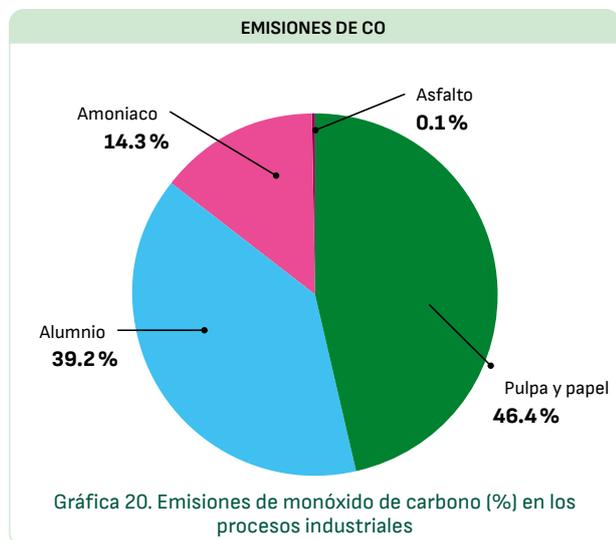
Las emisiones de monóxido de carbono en los procesos industriales están relacionadas con la producción de pulpa y papel (46,4 %), seguido de la producción de aluminio (39,2 %) y amoníaco (14,3 %). En valor absoluto, dichas emisiones no son tan relevantes en comparación con las emisiones del sector energético por la combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa.

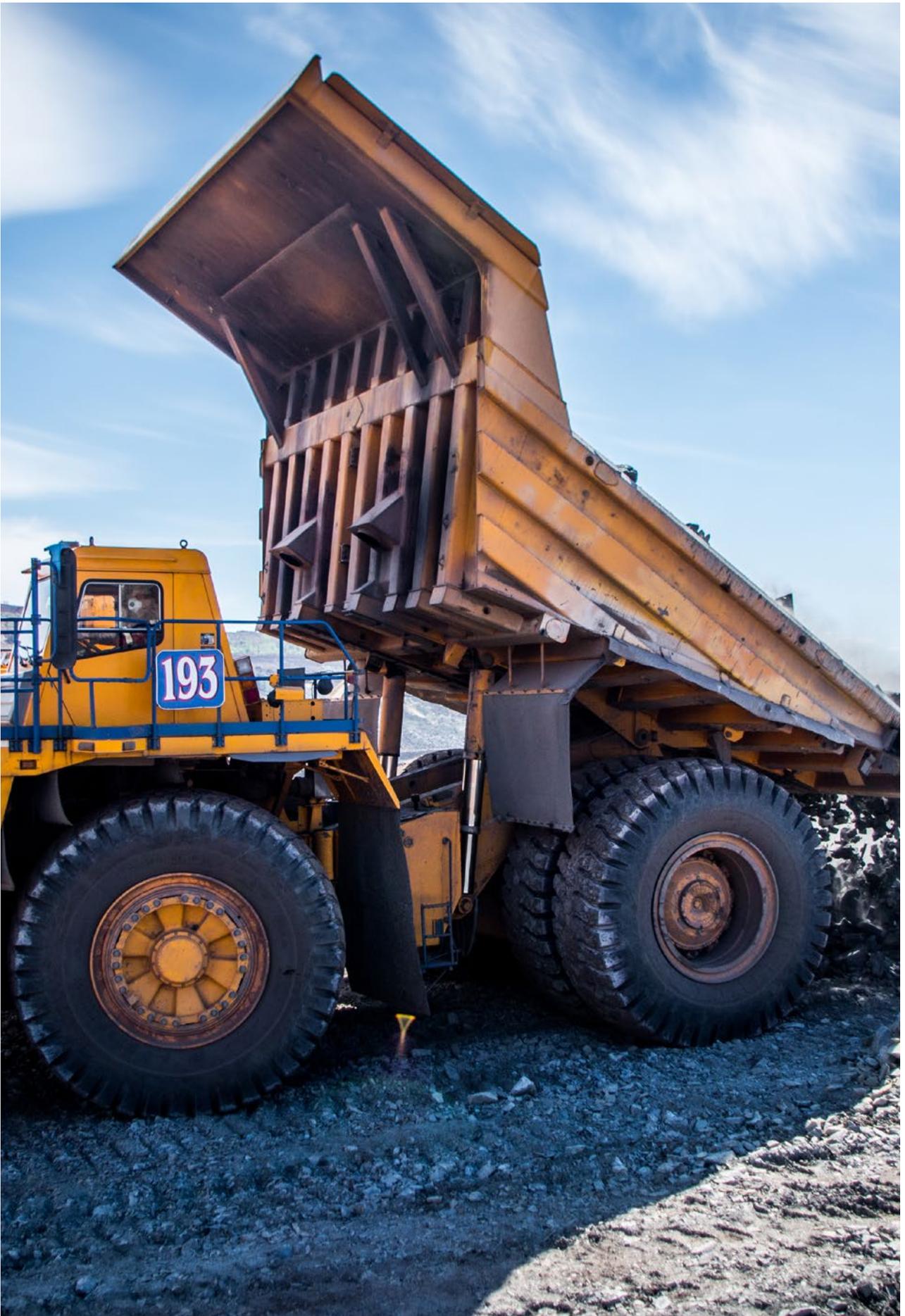


De acuerdo con la tabla 13 la fundición de zinc emitió aproximadamente 112 Gg de dióxido de azufre en el año 2010, que equivale al 78,5 % de las emisiones de SO<sub>2</sub> en la categoría de procesos industriales. La fundición de cobre es responsable del 20 % de las emisiones, aún cuando se ha considerado que las plantas de ácido sulfúrico en dicha industria recuperan aproximadamente el 97 % del SO<sub>2</sub> emitido. Es importante tener en cuenta que para este inventario se asumió que los sistemas de control de SO<sub>2</sub> en la fundición de zinc tienen una eficiencia del 50 %. Al contar con información oficial se podría determinar si dicha información ha sido subestimada o sobre estimada.



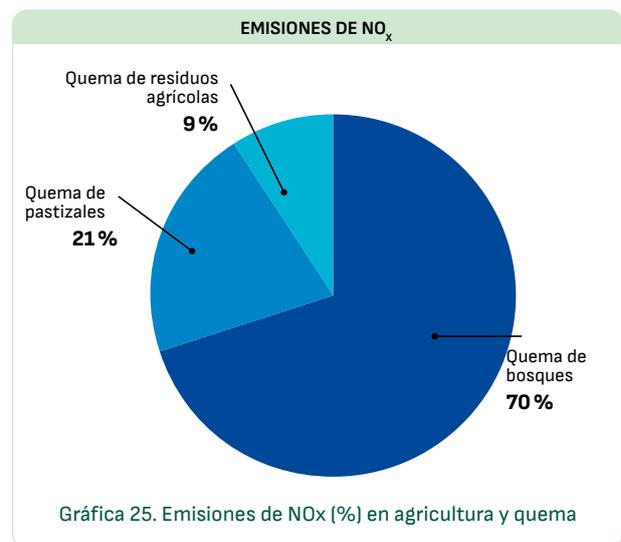
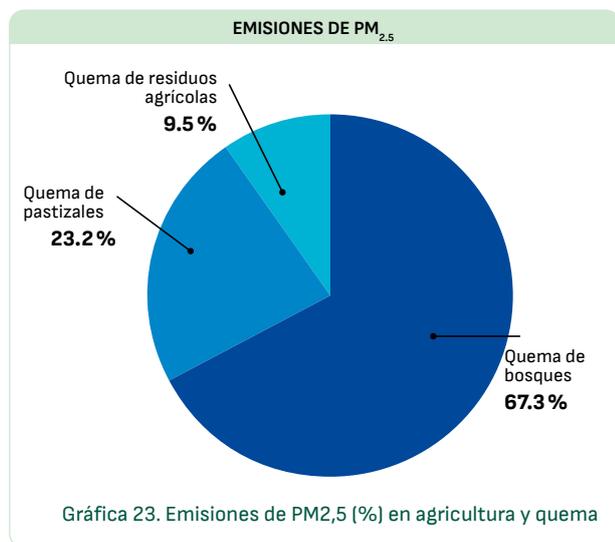
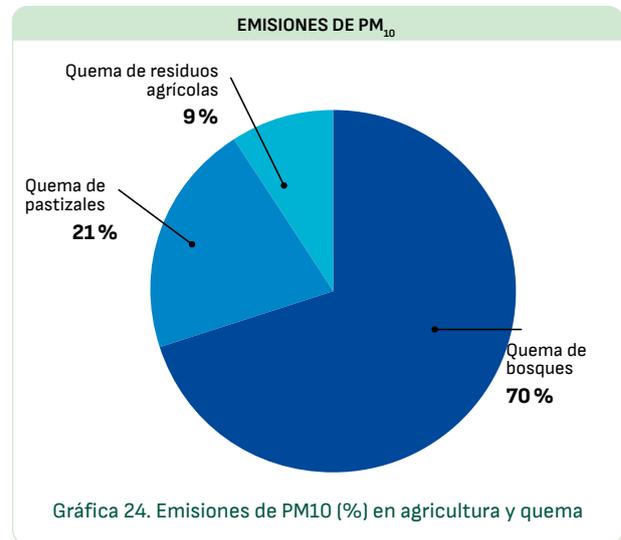
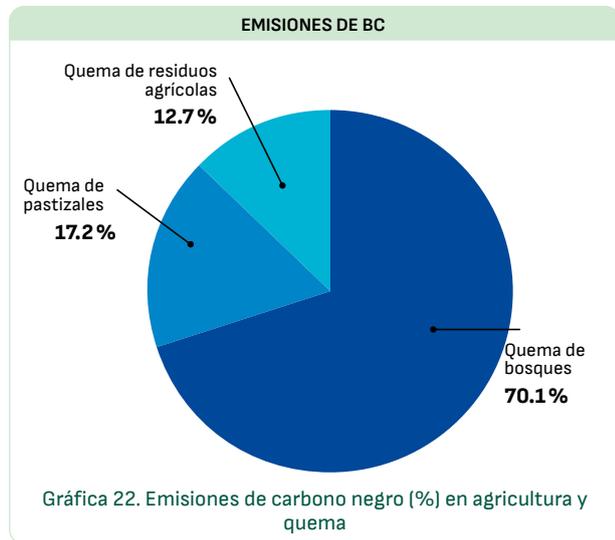
La industria de alimentos y bebidas es responsable de más del 99 % de las emisiones de COVNM en la categoría de procesos industriales, especialmente por la producción de azúcar, margarinas y otras grasas para cocinar. En el anexo 6.1.2 se detallan los factores de emisión y el nivel de producción de cada tipo de industria.

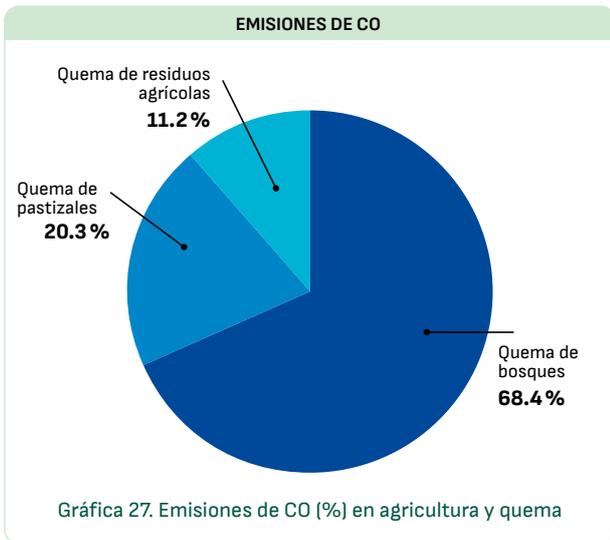
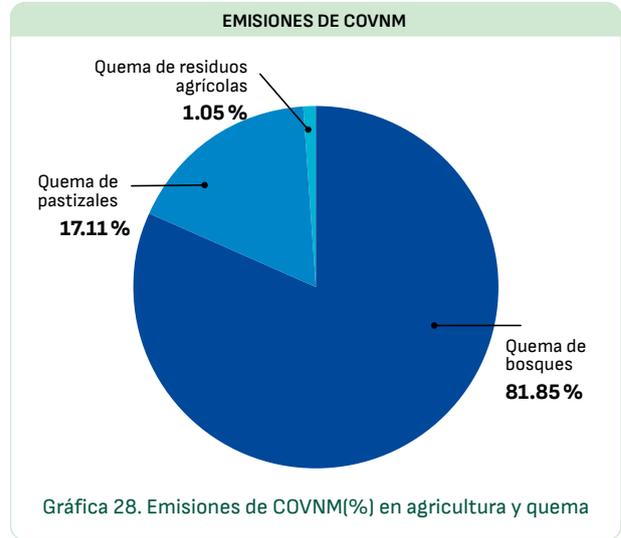
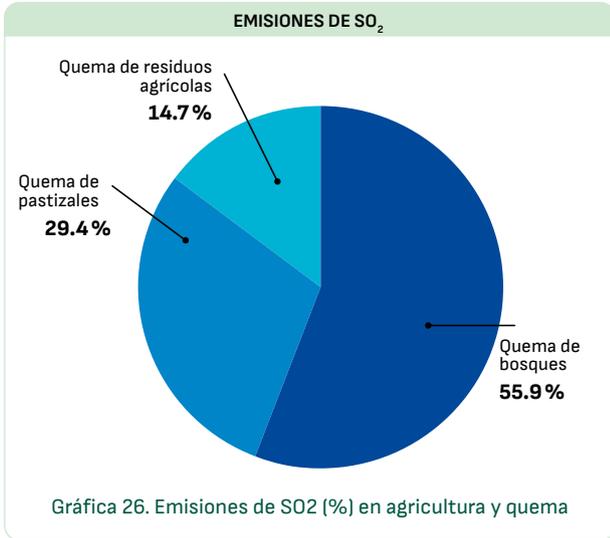




### 3.2.3 AGRICULTURA Y QUEMA

El aporte porcentual de cada fuente de emisión, por tipo de contaminante, en la categoría de Agricultura y quema se presenta en las siguientes gráficas:





De acuerdo con las gráficas anteriores, en la categoría de "Agricultura y quema", la quema de bosques es la primera fuente de emisión de carbono negro y de todos los contaminantes criterio analizados en este inventario:  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO$  y  $COVNM$ . A nivel nacional, la quema de bosques amazónicos es la primera fuente de emisión de material particulado incluyendo  $BC$ . La quema de pastizales es la segunda fuente más relevante en la emisión de todos los contaminantes criterio y  $BC$  en esta categoría. La quema de residuos agrícolas también tiene gran relevancia en la emisión de

contaminantes si se compara con otras fuentes de emisión a nivel nacional. Analizando la tabla 7, en la que se presentan todas las emisiones en el año 2010 por fuente de emisión en el Perú, se puede observar que la quema agrícola sobrepasa las emisiones de los procesos industriales (a excepción de  $SO_2$ ) y de la quema a cielo abierto. Emite aproximadamente el 8 % del  $BC$ ,  $PM_{2,5}$  y  $CO$  a nivel nacional, superando las emisiones de las industrias de la energía, la industria ladrillera y el sector de manufactura y construcción.



### 3.2.4 DESECHOS

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las emisiones de BC en las cuatro fuentes de emisión mencionadas en el presente capítulo y otros contaminantes criterio por la quema de residuos a cielo abierto.

Tabla 14. Emisiones de CCVC y contaminantes criterio, sector desechos, en Gg

FUENTE DE EMISIÓN	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOX	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Disposición de residuos sólidos	-	-	-	-	-	-	-
Quema a cielo abierto	0,60	9,09	11,04	4,55	0,46	35,26	6,96
Águas residuales domésticas	-	-	-	-	-	-	-
Efluentes industriales	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,60</b>	<b>9,09</b>	<b>11,04</b>	<b>4,55</b>	<b>0,46</b>	<b>35,26</b>	<b>6,96</b>





# **CONCLUSIONES**

Los principales hallazgos del Inventario Nacional de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y contaminantes criterio para el año 2010, se resumen a continuación:

- ➔ La quema de bosques y quema de pastizales en la categoría de emisión “Agricultura y quema” es la principal fuente de partículas (carbono negro,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ), monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles no metánicos (más del 50 % en todos los casos). Sin embargo, estas emisiones se encontrarían vinculadas principalmente a zonas con menor densidad poblacional respecto de las zonas urbanas.
- ➔ Dentro de la categoría de Energía, el sector residencial es la principal fuente de partículas (carbono negro,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ), monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles no metánicos por el uso de leña en hogares rurales para la cocción de alimentos.
- ➔ En las zonas urbanas, donde se concentra el 75 % de la población nacional (INEI, 2010), el transporte terrestre es la principal fuente de emisión de carbono negro y partículas finas, específicamente por el uso de diésel en vehículos pesados.
- ➔ Aproximadamente el 70 % de las emisiones de dióxidos de azufre a nivel nacional provienen del sector industrial. El uso y transformación de materias primas en la fundición de zinc representa aproximadamente el 40 % del total de las emisiones, mientras que el uso de combustibles en todas las industrias de manufactura y construcción representa aproximadamente el 17 % del total de las emisiones.
- ➔ En la subcategoría “industrias de manufactura y construcción” las emisiones de la industria ladrillera son mayores en la mayoría de contaminantes estimados (BC,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  y CO), en comparación con el resto de las industrias del Perú. Esto se debe al uso de biomasa (especialmente leña, ver anexo 6.1.1) en hornos tradicionales o de producción artesanal.
- ➔ El transporte terrestre emite aproximadamente la mitad de los óxidos de nitrógeno a nivel nacional, siendo las tecnologías Pre-Euro responsables en 70 % de dichas emisiones. Otras fuentes de emisión importantes son la quema de bosques y pastizales, así como el uso de combustibles fósiles en procesos industriales, especialmente por las elevadas temperaturas que alcanzan los hornos.

# 5

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., ... & Wennberg, P. O. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(9), 4039–4072.
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global biogeochemical cycles*, 15(4), 955–966.
- Avendaño, A., Caballero, A., Gozalo, V., Paz, M. (2015). Joining the dots of informality and climate change: a discussion paper for practitioners. Konrad Adenauer Foundation, Lima.
- BBVA Research, el servicio de estudios del grupo BBVA. (2012). Situación Automotriz Perú.
- Bertschi, I. T., Yokelson, R. J., Ward, D. E., Christian, T. J., & Hao, W. M. (2003). Trace gas emissions from the production and use of domestic biofuels in Zambia measured by open-path Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13).
- Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J. H., & Klimont, Z. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D14).
- CEMENTIS GMBH, 2017. Oferta, demanda, marco legal del cemento adicionado. Una consultoría en el marco del Proyecto Mecanismos Financieros para un Desarrollo bajo en Carbono – FinanCC Perú (BMZ/ USAID), Programa CF Ready.
- Christian, T. J., Yokelson, R. J., Cárdenas, B., Molina, L. T., Engling, G., & Hsu, S. C. (2010). Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(2), 565–584.
- Coalición de Clima y Aire Limpio –CCAC-. (2016). Manual de capacitación sector ladrillero en América Latina. Swisscontact, Lima.
- Dawidowski, L., Sánchez, O., Alarcón, N. (2014). Estimación de emisiones vehiculares en Lima Metropolitana – Informe final. Lima: SENAMHI/SAEMC.
- EMEP/CORINAIR. (2002). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Third Edition, European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/>
- EMEP/CORINAIR. (2006). Emission Inventory Guidebook, 2006, European Environment Agency, 2008. <http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page002.html>.
- EMEP/CORINAIR. (2007). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007. European Environment Agency (EEA). <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>
- Escobar, R., Gamio, P., Moreno, A. I., Castro, A., Cordero, V., & Vásquez, U. (2016). Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible: Propuestas para alcanzar el acceso universal a la energía en el Perú.
- EURELECTRIC “Preservation of Resources” Working Group’s “Upstream” Sub-Group in collaboration with VGB. (2003). Efficiency in electricity generation.

- Ferek, R. J., Reid, J. S., Hobbs, P. V., Blake, D. R., & Lioussé, C. (1998). Emission factors of hydrocarbons, halocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D24), 32107–32118.
- Gubler, A. V., & Mamani, V. P. (2015). How big is small? Enough to not breathe oil!. In *Decentralized Solutions for Developing Economies* (pp. 247–256). Springer, Cham.
- Heaps, C.G., 2016. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version: 2018.1.2] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. <https://www.energycommunity.org>
- Henriques, M., Valença, M.R., Pinto, J.A. (2015). Manual de eficiencia energética en la industria ladrillera. Programa de eficiencia energética en ladrilleras de América Latina para mitigar el cambio climático – EELA–. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI), Instituto Nacional de Tecnología (INT), FUNCATE, COSUDE, Swisscontact.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC/SEMARNAT, México.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. Estadísticas 2010: Economía, población y vivienda, Medio Ambiente. <http://www.inei.gob.pe>
- Instituto Nacional de Tecnología INT Y Swisscontact (miembros del equipo del programa EELA). Factsheets about brick kilns in south and south-east Asia. Hoffman, DDK, Tunnel, Dome circular.
- Instituto Nacional de Tecnología INT Y Swisscontact (miembros del equipo del programa EELA). Ficha técnica de tecnologías de horno de ladrillo/teja en América Latina, Horno de Tiro Invertido y Horno Abovedado.
- Janssen, N., Gerlofs-Nijland, M.E., Lanki, T., Salonen, R.O., Cassee, F., Hoek, G., Fisher, P., Brunekreef, B., Krzyzanowski, M. (2012). Health effects of Black Carbon. World Health Organization.
- IPCC. (1996). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (revised).
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- Johnson, M., Edwards, R., Frenk, C. A., & Masera, O. (2008). In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households. *Atmospheric Environment*, 42(6), 1206–1222.
- Meier, P., Tuntivate, V., Barnes, D., Bogach, S. Farchy, D. (2010). Perú Encuesta Nacional de Consumo de energía a hogares en el ámbito rural. *Energía y pobreza*. Unidad de energía, Departamento de Desarrollo Sostenible, Región de América Latina y el Caribe, Banco Mundial.
- Méndez, J.P., Marchán, J. (2008). Estudio: Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. SUNASS
- Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment (2013). Informe final: Apoyo a la Iniciativa de Planificación Nacional sobre Contaminantes Climáticos de Vida Corta en México.
- Ministerio del Ambiente (2019). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014.

- Ministerio del Ambiente. (2016). El Perú y el Cambio Climático, Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. La conservación de bosques en el Perú (2011–2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/informessectoriales/wp-content/uploads/sites/112/2016/02/11-La-conservaci%C3%B3n-de-bosques-en-el-Per%C3%BA.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Perupetro. (2010–2015). Estadística petrolera.
- Pokharel, S. S., Bishop, G. A., & Stedman, D. H. (2001). Fuel-based on-road motor vehicle emissions inventory for the Denver metropolitan area. *Contract No. E-11-4*, 1–15.
- Rajarathnam, U., Athalye, V., Ragavan, S., Maithel, S., Lalchandani, D., Kumar, S. & Bond, T. (2014). Assessment of air pollutant emissions from brick kilns. *Atmospheric environment*, 98, 549–553.
- Programa Regional de Aire Limpio y Ministerio de la Producción. Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú. Departamentos de Puno, Cajamarca, Trujillo, Lambayeque, Piura, Ayacucho, Lima, Tacna, Arequipa y Cusco.
- Reddy, M. S., & Venkataraman, C. (2002). Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India. Part II—biomass combustion. *Atmospheric Environment*, 36(4), 699–712.
- Shrestha, R.M., Kim Oanh, N.T., Shrestha, R. P., Rupakheti, M., Rajbhandari, S., Permadi, D.A., Kanabkaew, T., and Iyngararasan, M. (2013), Atmospheric Brown Clouds (ABC) Emission Inventory Manual, United Nations Environment Programme, Nairobi, **Kenya**.
- Sinha, P., Hobbs, P. V., Yokelson, R. J., Bertschi, I. T., Blake, D. R., Simpson, I. J., ... & Novakov, T. (2003). Emissions of trace gases and particles from savanna fires in southern Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13).
- Swisscontact. (2014). Elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú.
- Swisscontact. Medidas de mitigación apropiadas para cada país de la industria manufacturera: NAMA Ladrillos.
- Thompson, R., Floess, E., Weyant, C., Bond, T., Baum, E., Salgado, F.A. (2016). Brick kiln measurements in Colombia: energy and emissions. Report: Results and Interpretation of data collected–Colombia. Elaborated by Swisscontact to the Climate and Clean Air Coalition (CCAC).
- United Nations Environment Programme (UN environment) and Climate and Clean Air Coalition (CCAC). (2016). Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants for Latin America and the Caribbean: Improving air quality while mitigating climate change. Summary for decision makers. Nairobi, Kenya.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1995). Compilation of air pollutant emission factors Volume I: Stationary point and area sources, AP-42, Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, NC. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s07.pdf>

- <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s03.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2002). A comprehensive analysis of biodiésel impacts on exhaust emissions.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2015). Americas Children and the Environment. Environment and contaminants. Criteria Air pollutants.
- United States Department of Agriculture USDA. (2016). Effects of ozone air pollution on plants. Disponible en <https://www.ars.usda.gov/southeast-area/raleigh-nc/plant-science-research/docs/climate-changeair-quality-laboratory/ozone-effects-on-plants/>
- Venkataraman, C., Sagar, A. D., Habib, G., Lam, N., & Smith, K. R. (2010). The Indian national initiative for advanced biomass cookstoves: the benefits of clean combustion. *Energy for Sustainable Development*, 14(2), 63-72.
- Weyant, C., Athalye, V., Ragavan, S., Rajarathnam, U., Lalchandani, D., Maithel, S., ... & Bond, T. C. (2014). Emissions from South Asian brick production. *Environmental science & technology*, 48(11), 6477-6483.
- Woodall, B. D., Yamamoto, D. P., Gullett, B. K., & Touati, A. (2012). Emissions from small-scale burns of simulated deployed US military waste. *Environmental science & technology*, 46(20), 10997-11003.
- World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. (2016). *The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action*. Washington, DC: World Bank.
- World Health Organization. (2017). Preventing noncommunicable diseases (NDCs) by reducing environmental risk factors. Geneva.
- Yokelson, R. J., Christian, T. J., Karl, T. G., & Guenther, A. (2008). The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(13), 3509-3527.
- Yokelson, R. J., Burling, I. R., Urbanski, S. P., Atlas, E. L., Adachi, K., Buseck, P. R. & Wold, C. E. (2011). Trace gas and particle emissions from open biomass burning in Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(14), 6787-6808.

6

**ANEXOS**

# 6.1

## NIVEL DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISIÓN

### 6.1.1 ENERGÍA

#### → QUEMA DE COMBUSTIBLES

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión de CCVC y contaminantes criterio, así como la demanda de combustibles en el año 2010 (nivel de actividad), por tipo de combustible,

en las industrias de la energía, manufactura y construcción (excluyendo industria ladrillera), transporte (excluyendo transporte terrestre), comercial y servicios públicos y agricultura y pesca.

Tabla 15. Demanda de combustible (TJ) en el año 2010 y factores de emisión en el sector energético (kg/TJ), a excepción de transporte terrestre, industria ladrillera y el sector residencial

TIPO DE COMBUSTIBLE	DEMANDA (TJ)	FACTORES DE EMISIÓN (KG/TJ)						
		BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub> <sup>45</sup>	CO	COVNM
<b>GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>								
Carbón mineral	10 497	0,075	3,4	7,7	209	820	8,7	1
Gas natural	108 711	0,0223	0,89	0,89	89	0,281	39	2,6
Petróleo industrial	9 846	1,08	19,3	25,2	142	% S	15,1	2,3
Diésel	3 330	0,268	0,8	3,2	65	% S	16,2	0,8
Bagazo	2 471	4,4	133	155	81	10,8	90	7,31
<b>REFINACIÓN DE PETRÓLEO</b>								
Gas natural	28 303	0,077	0,89	0,89	63	0,281	12,1	2,6
Gas de refinería	9 572	0,022	0,89	0,89	89	0,281	12,1	2,6
Diésel	81	0,268	0,8	3,2	65	% S	16,2	0,8
<b>PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS</b>								
Gas natural	5 598	0,022	0,89	0,89	89	0,281	39	2,6
Petróleo industrial	3 806	1,08	19,3	25,2	142	% S	15,1	2,3
Diésel	3 420	0,268	0,8	3,2	65	% S	16,2	0,8
<b>MINERO METALÚRGICO</b>								
Gas natural	3 499	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
GLP	1 025	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
Diésel	15 161	11,2	20	20	513	% S	66	25
Petróleo industrial	477	11,2	20	20	513	% S	66	25
Kerosene	594	11,2	20	20	513	47	66	25
Gasolina	80	11,2	20	20	513	% S	66	25
Carbón mineral	2 443	6,9	108	117	173	900	931	88,8
<b>OTRAS INDUSTRIAS</b>								
Carbón mineral	20 308	6,9	108	117	173	900	931	88,8
Gas natural	22 994	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
GLP	10 857	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
Gasolina	669	11,2	20	20	513	% S	66	25
Kerosene	206	11,2	20	20	513	47	66	25

<sup>45</sup> El símbolo % S significa que las emisiones de SO<sub>2</sub> fueron estimadas con la Ecuación 3, realizando un balance de masa, teniendo en cuenta el porcentaje de azufre en el combustible y suponiendo que este es convertido en su totalidad en SO<sub>2</sub>.

TIPO DE COMBUSTIBLE	DEMANDA (T)	FACTORES DE EMISIÓN (KG/TJ)						
		BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOx	SO <sub>2</sub> <sup>45</sup>	CO	COVNM
Diésel	13 699	11,2	20	20	513	% S	66	25
Petróleo industrial	8 319	11,2	20	20	513	% S	66	25
<b>AVIACIÓN NACIONAL</b>								
Gasolina de aviación <sup>46</sup>	51	0,1	0,14	0,14	89	% S	15 000	424
Turbo A1	12 715	0,1	0,14	0,14	211	% S	45	14
<b>TRANSPORTE FERROVIARIO<sup>47</sup></b>								
Diésel B2	518	0,50	1,34	1,41	52,6	% S	10,5	4,5
Diésel B2 S50	797	0,50	1,34	1,41	52,6	% S	10,5	4,5
<b>TRANSPORTE MARÍTIMO Y FLUVIAL<sup>48</sup></b>								
Gasolina	1505	0,48	9,5	9,5	9,4	20	573,9	181,5
Diésel B2	1650	0,43	1,37	1,47	78,8	20	7,3	2,72
Petróleo industrial	2788	0,67	5,6	6,2	79,3	20	7,4	2,7
<b>COMERCIAL Y SERVICIOS PÚBLICOS</b>								
Gas natural	2103	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
GLP	2743	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
Gasolina	6896	10,1	18	21	306	% S	93	20
Kerosene	1774	10,1	18	21	306	% S	93	20
Diésel	1939	10,1	18	21	306	% S	93	20
Petróleo industrial	6	11,2	20	20	513	% S	66	23
Biomasa	3 010	39,2	140	143	91	11	570	300
<b>AGRICULTURA Y PESCA</b>								
Carbón mineral	76	6,9	108	117	173	840	931	88,8
Gas natural	322	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
GLP	59	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
Gasolina	767	10,1	18	21	306	% S	93	20
Kerosene	76	10,1	18	21	306	% S	93	20
Diésel	3 308	10,1	18	21	306	% S	93	20
Petróleo industrial	3 567	6	10,7	11,6	303,3	% S	40,3	12,9
Biomasa	6 375	39,2	140	143	91	11	570	300

Fuente: Nivel de actividad: BNE 2010. Factores de emisión: EMEP/EEA 2016.

<sup>46</sup> BC, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> de Bond *et al.* (2004)<sup>47</sup> Factores de emisión corregidos por la mezcla de diésel con biodiésel (2 %) de acuerdo con la tabla 5. Unidades en g/kg. Factores de emisión de BC fueron obtenidos de Bond *et al.* (2004).<sup>48</sup> Factores de emisión corregidos por la mezcla de diésel con biodiésel (2 %) de acuerdo con la tabla 5. Unidades en g/kg. Factores de emisión de BC fueron obtenidos de Bond *et al.* (2004).



→ **INDUSTRIA LADRILLERA**

Las gráficas que se presentan a continuación indican los tipos de combustible utilizados en cada tipo de horno y su proporción de uso. Los porcentajes fueron calculados teniendo en cuenta el consumo energético de cada combustible, convirtiendo las unidades de masa o volumen de consumo reportado en las encuestas de Produce. Los factores de emisión utilizados por cada tipo de horno se presentan en la tabla 18.

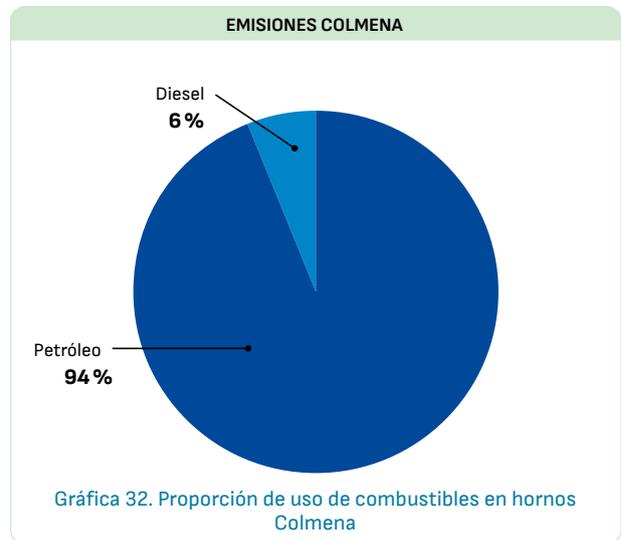
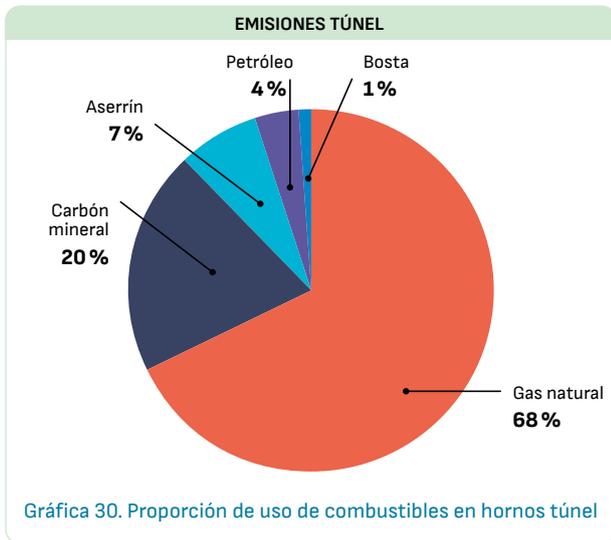
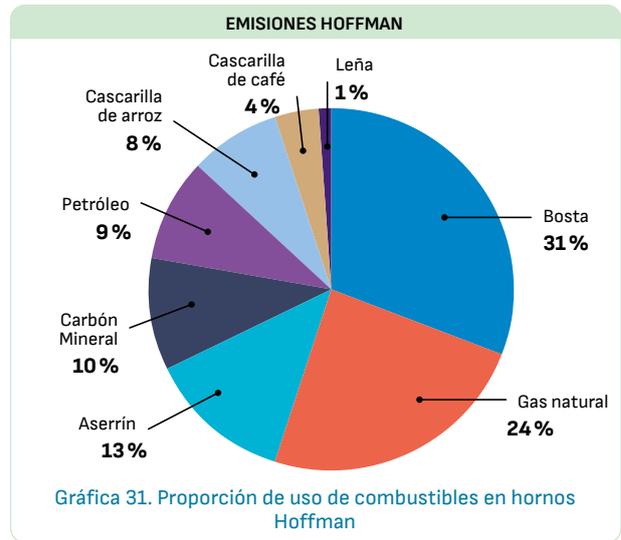
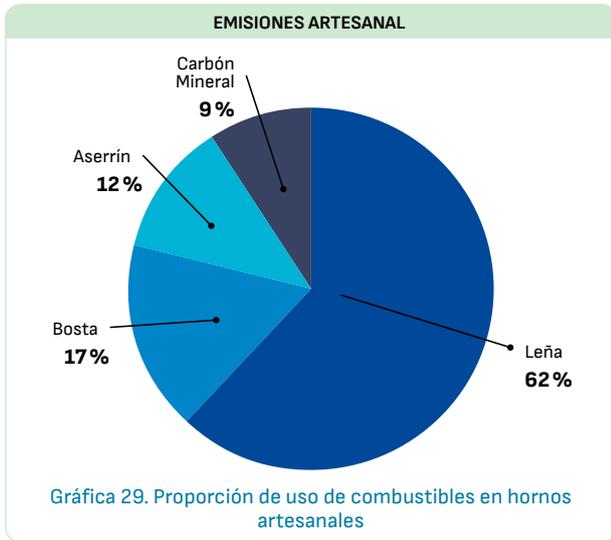


Tabla 16. Factores de emisión en la industria ladrillera, en kg/TJ

TIPO DE HORNO	COMBUSTIBLE	BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Artesanal	Carbón mineral <sup>49</sup>	11	784	849	173	1 980	14 090	88,8
	Bosta	39,2	140	143	91	11	570	300
	Aserrín	39,2	140	143	91	11	570	300
	Leña <sup>50</sup>	71	194	198	91	900	5 100	300
Túnel	Carbón mineral <sup>51</sup>	31	154	142	173	900	2129	88,8
	Bosta	39,2	140	143	91	11	570	300
	Aserrín	39,2	140	143	91	11	570	300
	Gas Natural	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
	Petróleo	11,2	20	20	513	47	66	25
Hoffman	Carbón mineral <sup>52</sup>	12,0	44	48	173	610	1650	88,8
	Bosta	39,2	140	143	91	11	570	300
	Aserrín	39,2	140	143	91	11	570	300
	Leña	39,2	140	143	91	11	570	300
	Gas natural	0,03	0,78	0,78	74	0,67	29	23
	Petróleo	11,2	20	20	513	47	66	25
	Cascarilla de arroz	39,2	140	143	91	11	570	300
	Cascarilla de café	39,2	140	143	91	11	570	300
Colmena	Petróleo	11,2	20	20	513	47	66	25
	Diésel	11,2	20	20	513	47	66	25

Fuente: EMEP/EEA 2016, capítulo 1.A.2, a menos que se especifique lo contrario en el pie de página. Factores de emisión genéricos para combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y biomasa, en industrias de manufactura y construcción.

<sup>49</sup> Fuente para PM<sub>2,5</sub>, BC y CO: Brick kiln measurements in Colombia: Energy and emissions, Swisscontact. PM<sub>10</sub> fue calculado con la relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> del EMEP/EEA 2016.

<sup>50</sup> Fuente para PM<sub>2,5</sub>, BC y CO: Weyant *et al.* (2014). PM<sub>10</sub> fue calculado con la relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> del EMEP/EEA 2016.

<sup>51</sup> Fuente para PM<sub>2,5</sub> y CO: Factsheets about brick kilns in South and Southeast Asia - Tunnel Kiln, Greentech (India) and Swiss contact. Fuente para BC: Brick kiln measurements in Colombia: Energy and emissions, Swisscontact. PM<sub>10</sub> fue calculado con la relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> del EMEP/EEA 2016.

<sup>52</sup> Fuente para PM<sub>2,5</sub>, BC y CO: Brick kiln measurements in Colombia: Energy and emissions, Swisscontact.

## → TRANSPORTE TERRESTRE

En esta sección se presentan los datos de nivel de actividad y factores de emisión utilizados para estimar las emisiones del transporte terrestre considerando diferentes categorías vehiculares.

Tabla 17. Número de vehículo por categoría vehicular, año 2010

CATEGORÍA VEHICULAR	NÚMERO DE VEHÍCULOS
Vehículo particular	590 095
Taxis	219 872
Station Wagon	285 300
Pick-up	210 988
Rural	235 889
Panel	36 184
Ómnibus	54 389
Camión	147 293
Remolcador	28 679
Motos	854 555

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones/OGPP - Oficina de estadística y hojas de cálculo iNDC (para motos).

Tabla 18. Distribución de consumo de combustible por categoría vehicular

TIPO DE COMBUSTIBLE	VEHÍCULO PARTICULAR	TAXIS <sup>53</sup>	STATION WAGON	CAMIONETAS			ÓMNIBUS	CAMIÓN	REMOLCADOR	MOTOS
				PICK-UP	RURAL	PANEL				
Diésel <sup>54</sup>	0,5 %	4,7 %	10,7 %	88,5 %	24,9 %	40,7 %	91,9 %	99,5 %	100,0 %	0,0 %
GLP	9,0 %	9,1 %	8,0 %	1,1 %	1,8 %	8,5 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
GNV	10,4 %	55,5 %	28,7 %	0,1 %	0,4 %	3,7 %	8,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %
Gasolina	80,1 %	16,4 %	52,6 %	10,4 %	72,9 %	47,1 %	0,0 %	0,4 %	0,0 %	100,0 %
Dual <sup>55</sup>	0,0 %	14,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Fuente: Ingei 2010, actualizado en el Ingei 2014.

<sup>53</sup> Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima. Gerencia de Transporte Urbano. Subgerencia de Regulación del Transporte. (2017). Oficio n.º 060-2017-MML/GTU-SRT. Asunto: Información de transporte público (regular y taxis). Referencia: Oficio n.º 124-2014-MEM/DGEE.

<sup>54</sup> Se dividió entre diésel B2 y diésel B5 S50, de acuerdo con el consumo de combustible reportado por el MTC.

<sup>55</sup> En el Perú, los vehículos de dos combustibles o "dual" suelen operar a gasolina y GNV o gasolina y GLP. Debido a que en el oficio de la Municipalidad de Lima no se especifican los combustibles utilizados, el porcentaje de la tabla (14,2 %) se repartió proporcionalmente entre la participación de GNV y GLP, teniendo en cuenta que una vez el vehículo es convertido a GLP o GNV, se usa gasolina en una proporción menor o nula. Así, el porcentaje de taxis que usa GNV se convierte sería 67,7 % (en lugar de 55,5 %) y que usan GLP sería 11,2 % (en lugar de 9,1 %); estos fueron los valores ingresado en la herramienta LEAP.

Tabla 19. Kilometraje anual por categoría vehicular y tipo de combustible

CLASE VEHICULAR	KM / AÑO
<b>AUTOMOVIL<sup>56</sup></b>	
Gasolina	15 000
Diésel	15 000
GLP	15 000
GNV	15 000
Híbrido	15 000
Eléctrico	15 000
<b>TAXIS</b>	
GLP y GNV	78 000
<b>STATION WAGON</b>	
Gasolina	14 000
Diésel	78 000
GNV	78 000
GLP	78 000
<b>CAMIONETA PICK UP</b>	
Gasolina	14 000
Diésel	35 000
GNV	35 000
GLP	35 000
<b>CAMIONETA RURAL</b>	
Gasolina	14 000
Diésel	14 000
GLP	14 000
GNV	14 000
Híbrido	14 000
<b>CAMIONETA PANEL</b>	
Gasolina	25 000
Diésel	25 000
GNV	25 000
GLP	25 000
<b>ÓMNIBUS</b>	
Diésel	120 000
GNV	60 000
<b>CAMIÓN</b>	
Diésel	50 000
<b>REMOLCADOR</b>	
Diésel	120 000
<b>MOTOS</b>	
Gasolina	14 400

Fuente: Plan CC.

<sup>56</sup> Swisscontact (mayo 2014). Elaboración de propuesta para el uso de etiquetado energético en vehículos livianos en el Perú. Informe Final.

Tabla 20. Factores de emisión por consumo de diésel, por categoría vehicular y euro standard

CATEGORÍA VEHICULAR	EURO STANDARD	FACTORES DE EMISIÓN DIÉSEL "MEDIO" EMEP 2016				FACTORES DE EMISIÓN DB2 *					FACTORES DE EMISIÓN DB5 S50 *				
		NOX	CO	PM	COVNM	NOX	CO	PM	BC	COVNM	NOX	CO	PM	BC	COVNM
Autos y Station Wagon **	Pre-Euro	0,546	0,688	0,221	0,159	0,548	0,677	0,217	0,119	0,154	0,550	0,661	0,213	0,117	0,150
	Euro 1	0,69	0,414	0,084	0,047	0,693	0,407	0,082	0,058	0,046	0,695	0,398	0,081	0,057	0,044
	Euro 2	0,716	0,296	0,055	0,035	0,719	0,291	0,054	0,043	0,034	0,721	0,284	0,053	0,042	0,033
	Euro 3	0,773	0,089	0,039	0,02	0,776	0,088	0,038	0,033	0,019	0,778	0,086	0,038	0,032	0,019
Pick-up, Panel, Rural ***	Pre-Euro	1,66	1,34	0,356	0,133	1,667	1,318	0,349	0,192	0,129	1,671	1,288	0,343	0,189	0,125
	Euro 1	1,22	0,577	0,117	0,141	1,225	0,567	0,115	0,080	0,137	1,228	0,555	0,113	0,079	0,133
	Euro 2	1,22	0,577	0,117	0,149	1,225	0,567	0,115	0,092	0,145	1,228	0,555	0,113	0,090	0,140
	Euro 3	1,03	0,473	0,078	0,094	1,034	0,465	0,077	0,065	0,091	1,037	0,455	0,075	0,064	0,088
Ómnibus ****	Pre-Euro	16,5	5,71	0,909	1,99	16,566	5,615	0,892	0,446	1,931	16,611	5,488	0,875	0,438	1,872
	Euro 1	10,1	2,71	0,479	0,706	10,140	2,665	0,470	0,306	0,685	10,168	2,605	0,461	0,300	0,664
	Euro 2	10,7	2,44	0,22	0,463	10,743	2,399	0,216	0,140	0,449	10,772	2,345	0,212	0,138	0,436
	Euro 3	9,38	2,67	0,207	0,409	9,418	2,625	0,203	0,142	0,397	9,443	2,566	0,199	0,140	0,385
Camión y remolcador*****	Pre-Euro	8,92	2,13	0,334	0,776	8,956	2,094	0,328	0,164	0,753	8,980	2,047	0,322	0,161	0,730
	Euro 1	5,31	1,02	0,201	0,326	5,331	1,003	0,197	0,128	0,316	5,346	0,980	0,194	0,126	0,307
	Euro 2	5,5	0,902	0,104	0,207	5,522	0,887	0,102	0,066	0,201	5,537	0,867	0,100	0,065	0,195
	Euro 3	4,3	0,972	0,0881	0,189	4,317	0,956	0,086	0,061	0,183	4,329	0,934	0,085	0,059	0,178

Fuente: EMEP/EEA 2016, actualizado: junio 2017. Capítulo 1.4.3.B

\* Los factores de emisión de diésel fueron corregidos para mezclas con biodiésel, de acuerdo con la Tabla 4. Diésel B2 = diésel + 2% biodiésel; diésel B5 = diésel + 5 % biodiésel.

\*\* Vehículo de pasajeros "medio" en EMEP/EEA 2016. Esta categoría fue clasificada en "mini", "pequeño", "medio" y "grande".

\*\*\* Vehículos comerciales ligeros en EMEP/EEA 2016

\*\*\*\* Bus urbano en EMEP/EEA 2016

\*\*\*\*\* Vehículos pesados en EMEP/EEA 2016. Esta categoría se clasifica de acuerdo al peso del vehículo. Se escogieron los factores de emisión para peso intermedio de 75 – 16 t.

Tabla 21. Factores de emisión (g/km) por consumo de gasolina, GNV y GLP, por categoría vehicular y euro standard.

CATEGORÍA VEHICULAR	EURO STANDARD	BC <sup>57</sup>	PM <sub>2,5</sub> <sup>58</sup>	NOX	CO	COVNM
<b>GASOLINA</b>						
Autos, taxi, station wagon "medio"	Pre-Euro <sup>59</sup>	0,000176	0,0022	2,526	24,62	2,158
	Euro 1	0,00055	0,0022	0,485	3,92	0,53
	Euro 2	0,00055	0,0022	0,255	2,04	0,251
	Euro 3	0,000165	0,0011	0,097	1,82	0,119
Pick-up, Panel, Rural	Pre-Euro	0,000147	0,0023	3,09	25,5	3,44
	Euro 1	0,000575	0,0023	0,563	8,82	0,614
	Euro 2	0,000575	0,0023	0,23	5,89	0,304
	Euro 3	0,000165	0,0011	0,129	5,05	0,189
Camión y remolcador (>3.5 t)	Pre-Euro	0,0001472	0,0023	6,6	59,5	5,25
Motos <sup>60</sup>	Promedio	0,002275	0,0105	0,33	17,86	1,33
<b>GAS NATURAL VEHICULAR –GNV–</b>						
Autos y Station Wagon	Euro 4 <sup>61</sup>	0	0,0011	0,056	0,616	0,035
Ómnibus	Euro 2	0	0,01	15	2,7	0,313
<b>GAS LICUADO DE PETRÓLEO –GLP–</b>						
Autos, taxi, station wagon	Euro 1	0	0,002	0,414	3,57	0,723
Ómnibus <sup>62</sup>	Euro 1	0	0,009	1,7	14,3	2,9

Fuente: EMEP/EEA 2016, actualizado: junio 2017.

<sup>57</sup> Calculado como porcentaje de PM<sub>2,5</sub>, de acuerdo con la tabla 3.88 del EMEP/EEA 2016<sup>58</sup> Al PM<sub>10</sub> se le asignó el mismo factor de emisión de PM<sub>2,5</sub><sup>59</sup> Factores de emisión promedio entre PRE-ECE, ECE 15/00-01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04<sup>60</sup> Factores de emisión promedio entre Pre-euro, Euro 1 y Euro 2. Para motocicletas de cuatro tiempos y <250cm<sup>3</sup><sup>61</sup> Aunque en el Perú no hay registro de vehículos Euro 4, se usaron estos factores de emisión por ser los únicos reportados en el EMEP/EEA 2016.<sup>62</sup> En el EMEP/EEA 2016 no hay factores de emisión para buses que consumen GLP, por lo tanto, los factores de emisión fueron estimados en base a los factores de emisión de vehículo de pasajeros y la relación entre el consumo de combustibles vehículos de pasajeros/buses.

## → SECTOR RESIDENCIAL

La demanda de combustibles y factores de emisión por tipo de combustible en el sector residencial fueron separados de la tabla del sector energético, debido a la variedad de fuentes de las que se obtuvo la información. La tabla a continuación resume toda la información.

Tabla 22. Demanda de combustible (TJ) en el año 2010 y factores de emisión en el sector residencial (g de contaminante/kg de combustible, a menos que se especifique lo contrario en las notas).

TIPO DE COMBUSTIBLE	DEMANDA (TJ)	FACTORES DE EMISIÓN						
		BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOX	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Gas natural <sup>a</sup>	260	0,12	2,2	2,2	60	%S	30	2
GLP (kg/ton) <sup>b</sup>	27 022	0,01	0,31	0,32	40	%S	14,9	18,8
Kerosene <sup>c</sup>	206	0,022	0,16	0,17	1,54	0,011	7,5	5
Leña – cocina tradicional <sup>d</sup>	78 985	1,1	3,12	3,9	2,04	11	89,1	26,1
Leña – cocina mejorada <sup>e</sup>	755	0,74	1,84	2,3	50	11	42	1,87
Carbón vegetal <sup>f</sup>	1 851	1	2,38	2,38	0,38	11	134	600
Bosta/yareta <sup>b</sup>	8 919	0,12	3	3	50	0,88	39,9	24,2

Fuentes:

a. EMEP/EEA 2016.

b. EMEP/EEA 2016 para NOx (unidades: kg/TJ); Habib *et al.* (2004) para SO<sub>2</sub> por el uso de bosta y Venkataraman *et al.* (2010) para el resto de contaminantes.

c. Zhang *et al.* (2000). PM<sub>2,5</sub> fue estimado asumiendo una relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> igual a 96,4 % (Venkataraman *et al.* 2002) y BC fue estimado asumiendo que es 13% del PM<sub>10</sub> (Bond *et al.* 2004.)

d. Bertschi *et al.* (2003) para NOx y COVNM; EMEP/EEA 2016 para SO<sub>2</sub> (unidades: kg/TJ); Bond *et al.* (2004) para PM<sub>10</sub>, para PM<sub>2,5</sub> se asumió una relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> igual a 80 % (Venkataraman *et al.* 2002); Global Alliance of Clean Cookstoves<sup>63</sup> para CO y BC.

e. Bond *et al.* (2004) para PM<sub>10</sub>, para PM<sub>2,5</sub> se asumió relación PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> igual a 80%. EMEP/EEA 2016 para NOx y SO<sub>2</sub> (unidades: kg/TJ) y el resto de contaminantes de Akagi *et al.* (2010), cocinas mejoradas "Patsari"

f. Bertschi *et al.* (2003) para NOx y CO. Smith, Kirk *et al.* (2000) para PM<sub>10</sub>, asumiendo que PM<sub>10</sub> = TSP (partículas suspendidas totales, por sus siglas en inglés). Bond *et al.* (2004) para BC y EMEP/EEA 2006 para COVNM y SO<sub>2</sub> (unidades: kg/TJ).

<sup>63</sup>Base de datos facilitada por el Mario Molina Centre. Los factores de emisión son promedios de todos los datos disponibles en el catálogo de "Clean Cooking" y otra literatura adicional.

## → EMISIONES FUGITIVAS

El nivel de actividad y los factores de emisiones fugitivas en los distintos segmentos de la industria de producción/extracción y transporte de combustibles utilizados en este documento, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 23. Emisiones fugitivas de los combustibles, nivel de actividad y factores de emisión

SEGMENTO DE LA INDUSTRIA	NIVEL DE ACTIVIDAD	UNIDADES	FACTORES DE EMISIÓN <sup>64</sup>				
			BC	COVNM	SO <sub>2</sub>	NOX	CO
Perforación de pozos	223	Pozos/año	-	7935 kg/pozo	-	-	-
Producción de petróleo/ <i>onshore</i>	2 836 386	toneladas/año	-	42 907 kg/kt	-	-	-
Producción de petróleo/ <i>offshore</i>	782 478	toneladas/año	-	0,847 kg/kt	-	-	-
Quema en antorcha	229 128	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /año	0,51 kg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	28,6 kg/kt	-	-	-
Transporte de petróleo en tuberías	3 618 864	toneladas/año	-	62 kg/kt	-	-	-
Refinación de petróleo	10 348 201	toneladas/año	-	1,49 kg/t	0,92 kg/t	0,06 kg/t	0,09 kg/t
Gasolina: Estación de despacho de refinería	1 269 791	toneladas/año	-	489,81 kg/kt	-	-	-
Gasolina: Transporte y depósitos	1 081 866	toneladas/año	-	2013,65 kg/kt	-	-	-
Gasolina: Estaciones de servicio	1 081 866	toneladas/año	-	60 kg/kt	-	-	-
Producción de gas	463 542	TJ/año	-	8,3 kg/TJ	-	-	-
Procesamiento de gas	194 048	TJ/año	-	1,49 kg/TJ	-	-	-
Distribución de gas	194 048	TJ/año	-	0,66 kg/TJ	-	-	-
Minería subterránea de carbón	120 954	toneladas/año	-	-	-	-	-
Post-minería subterránea de carbón	120 954	toneladas/año	-	-	-	-	-

Fuente: Nivel de actividad: BNE 2010 y estadísticas petroleras de Perupetro 2010. Factores de emisión: IPCC 2006, capítulo 4, tabla 4.2.5. Promedio geométrico de los valores por defecto (las unidades originales se convirtieron considerando una densidad de petróleo crudo igual a 874 kg/m<sup>3</sup>).

<sup>64</sup>Factor de emisión de BC fue obtenido de McEwen and Johnson (2012); factores de emisión de SO<sub>2</sub>, NOx y CO fueron obtenidos de IPCC 1996. Factores de emisión de COVNM en gasolina (estación de despacho de refinería, transporte y depósitos, estaciones de servicio) fueron obtenidos de EMEP/Corinair (2004).

## 6.1.2 PROCESOS INDUSTRIALES

Los factores de emisión de los diferentes tipos de industria se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Producción y factores de emisión en el sector industrial por el uso no energético de los combustibles

TIPO DE INDUSTRIA	NIVEL DE ACTIVIDAD (PRODUCCIÓN)	FACTORES DE EMISIÓN						
		BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOX	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Industria de los minerales		kg/t						
Cemento *	t/año	0,004	0,13	0,234	-	0,3	-	-
Cal	359 154	0,032	0,7	3,5	-	-	-	-
Asfalto – techado	59 809	-	0,08	0,4	-	-	0,0095	0,13
Asfalto – pavimentación	237 978	0,023	0,4	3	-	-	-	0,016
Industria química		kg/t						
Amoniaco	t/año	-	-	-	1	0,03	7,9	4,7
Ácido nítrico	64 038	-	-	-	10	-	-	-
Industria de los metales		kg/t						
Aluminio	t/año	-	27,19	37,28	2,15	15,1	135	0,02
Cobre	312 968	0,193	193	230	-	2 120	-	0,03
Zinc	223 112	-	-	293	-	1 000	-	-
Pulpa de Papel		kg/t						
Pulpeo kraft	t/año	0,016	0,6	0,8	1	2	5,5	2
Proceso al sulfito neutro	74 582	-	-	-	0,5	-	-	0,05
Bebidas		kg/hl						
Cerveza	hectolitros/año	-	-	-	-	-	-	0,035
Vino	97 942	-	-	-	-	-	-	0,08
Otras bebidas alcohólicas	213 800	-	-	-	-	-	-	15
Alimentos		kg/t						
Azúcar	t/año	-	-	-	-	-	-	10
Margarinas y otros	99 000	-	-	-	-	-	-	10
Galletas, tortas y cereales	37 043	-	-	-	-	-	-	1
Alimento para animales	2 511 028	-	-	-	-	-	-	1

Fuentes: EMEP/EEA 2016, IPCC 2006 y AP-42 (1995)  
\* Factores de emisión por la producción de Clinker.

## 6.1.3 AGRICULTURA Y QUEMA

### → QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

En la siguiente tabla se presentan tanto el nivel de actividad como los factores de emisión y otras variables necesarias para calcular las emisiones por la quema de residuos agrícolas:

Tabla 25. Nivel de actividad (producción de cultivos año 2010) y factores de emisión (kg/t), en la quema de residuos agrícolas

Cultivo	Producción de cultivos (t/año)	Fracción de residuos por cosecha	Fracción de materia seca (%)	Fracción del residuo quemado en campo (%)	Fracción oxidada (%)	Factor de emisión (kg/t)						
						BC	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	NOx	SO <sub>2</sub>	CO	COVNM
Arroz	2 831 373	1,4	85	25	80	0,5	5,5	5,8	2,4	0,3	58,9	6,3
Trigo	219 454	1,3	85	5	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Café	264 605	2,1	83	10	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Soya	2534	2,1	87	10	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Maíz	1 949 376	1	75	12	80	0,75	6	6,2	1,8	0,2	38,8	4,5
Frijol	85 856	2,1	85	10	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Algodón	63 758	7,53	77	100	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Cebada	216 193	1,2	85	5	90	1,2	7,4	7,7	2,7	0,1	98,7	0,5
Caña de azúcar	9 660 895	0,16	83	100	80	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5
Yuca	1 240 121	0,4	40	5	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,48	66,7	0,5
Arveja	102 279	1,5	87	10	90	0,5	5,4	5,7	2,3	0,5	66,7	0,5

Fuente: EMEP/EEA 2016<sup>65</sup>

<sup>65</sup>El EMEP/EEA 2016 recomienda que para los cultivos sobre los que no se tiene información específica se usen los valores por defecto establecidos para el trigo. Esto se realizó además para asignar la fracción oxidada a cultivos diferentes a la caña de azúcar, arroz y maíz.

## → QUEMA DE BOSQUES Y PASTIZALES

La siguiente tabla presenta los factores de emisión para la quema de bosques y pastizales, debido a que la metodología utilizada es igual para ambas fuentes de emisión:

Tabla 26. Factores de emisión por la quema de bosques y pastizales, en kg/t<sup>66</sup>

CONTAMINANTES	QUEMA DE BOSQUES *	QUEMA DE PASTIZALES **
BC	0,66	0,37
PM <sub>2,5</sub>	9,1	7,17
PM <sub>10</sub>	10,5	7,17
Nox <sup>67</sup>	3,9	4,46
SO <sub>2</sub>	0,4	0,48
CO	93	63
COVNM	26	12,4

\* Fuente: Andreae y Merlet (2001) para PM10, PM2,5 y BC; Akagi *et al.* (2011) para NOx, SO2, CO y COVNM

\*\* Fuente: Akagi *et al.* (2011)

<sup>66</sup>Unidades: kg de contaminante / t de biomasa quemada.

<sup>67</sup>En Akagi *et al.* (2011), el factor de emisión de NOx se presenta como NO. Para expresar el factor de emisión como NO2, el valor presentado en el estudio fue multiplicado 1,53, es decir, la relación del peso molecular NO2/NO (46:30).

## 6.2

# PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

La siguiente tabla presenta las propiedades de los combustibles considerados en el cálculo, utilizados en diferentes fuentes de emisión:

Tabla 27. Propiedades de los combustibles

TIPO DE COMBUSTIBLE	CONTENIDO ENERGÉTICO	UNIDADES	DENSIDAD (KG/LITRO)	CONTENIDO CARBÓN (%)	CONTENIDO AZUFRE (%)	CONTENIDO CENIZAS (%)
Carbón bituminoso y antracita	29,31	GJ/t	1,33	74,6	0,813	8
Gas natural	40,5	MJ/ m <sup>3</sup>	0,00074	73,4	0,00064	0
Petróleo crudo	41,87	GJ/ t	0,874	83,5	1,2	0,05
Gas de refinería	34,2	MJ/ m <sup>3</sup>	0,0007	0	0,00064	0
GLP	46,7	GJ/ t	0,56	82	0,015	0
Gasolina motor	44,58	GJ/ t	0,73	84,6	0,2	0
Gasolina de aviación	43,5	GJ/ t	0,72	84,6	0,1	0
Turbo A1	43,75	GJ/ t	0,809	85	0,3	0
Kerosene	44,75	GJ/ t	0,810	85	0,05	0
Diésel B2	41,7	GJ/ t	0,87	86,5	0,2	0
Petróleo industrial	37,4	GJ/ t	0,98	84,4	3,5	0,075
Leña	15,1	GJ/ t	0,71	43,8	0,04	0,8
Productos animales y desechos	11,6	GJ/ t	0,3	34	0,07	14,9
Biomasa sólida	12	GJ/ t	0,3	34	0,07	14,9
Carbón vegetal	28,88	GJ/ t	0,25	88	0,036	1
Etanol	26,74	GJ/ t	0,792	52,2	0	0
Bağazo	13,4	GJ/ t	0,6	20,25	0	4,95
Diésel S50	43,33	GJ/ t	0,87	86,5	0,005	0
Aserrín	14,6	GJ/ t	0,71	45,6	0,5	4,7
Cascarilla de arroz	13,8	GJ/ t	0,3	38,25	0,04	9,35
Gasohol	44,8	GJ/ t	0,74	84,6	0,1	0
Cascarilla de café	17,9	GJ/ t	0,3	34	0,07	14,9

Fuentes: Fichas de datos de seguridad de Repsol y base de datos de LEAP

## 6.3

# PROCESO DE CONSULTA Y REVISIÓN DEL INVENTARIO

Con la finalidad de asegurar la calidad de este primer inventario de contaminantes climáticos de vida corta, se propuso trabajar de manera conjunta con actores interesados, generando así un espacio continuo de consulta e intercambio. Además, se realizaron dos revisiones, una focalizada en instituciones nacionales, y otra incorporando especialistas internacionales. En los siguientes apartados se describen los tres momentos de revisión y consulta mencionados.

### 6.3.1 PROCESO CONTINUO DE CONSULTA

Como parte del proceso de socialización y retroalimentación por parte de los sectores gubernamentales, se han venido realizando una serie de reuniones con especialistas públicos y privados con los diferentes sectores: residuos, agricultura, cambio climático y energía. Es importante destacar la activa colaboración que se ha tenido con la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) del Ministerio de Energía y Minas (Minem), especialmente con el equipo que viene trabajando en el Proyecto de NAMAs de Energía, así como la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del MINAM.

Asimismo, se mantuvo coordinación con instituciones privadas como SwissContact y las instituciones que conforman el "Colectivo de Acceso a Energía Básica".

Por otro lado, hubo acompañamiento continuo de los especialistas del Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés). Este apoyo no solo a nivel de uso del *software* LEAP y la construcción del inventario en el mismo, sino que se recibió apoyo en la aplicación de la metodología y definición de factores de emisión.

### 6.3.2 REVISIÓN DE RESULTADOS PRELIMINARES CON ACTORES NACIONALES

Con el objetivo de socializar el proceso de construcción y los resultados preliminares del inventario nacional de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) y recibir la retroalimentación, se realizó un taller con los especialistas técnicos de las entidades públicas y privadas peruanas que vienen trabajando en sectores relacionados con la emisión de dichos contaminantes, así como su reducción.

El taller contó con la participación de los Ministerios de Energía y Minas, Producción, Agricultura, Vivienda Construcción y Saneamiento; el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico; direcciones y organismos adscritos del Ministerio del Ambiente; instituciones privadas y de la cooperación internacional (IICA, Cosude, SECO, GIZ, Practical Action, SNV, Swisscontact, y Microsol).

#### METODOLOGÍA DEL TALLER:

Para el logro del objetivo establecido en el taller, se dividió el trabajo en tres partes:

➔ Presentación de los resultados preliminares del inventario y preguntas de los asistentes:

Se dieron a conocer los principales resultados del inventario de CCVC, así como otras generalidades del proceso.

➔ Trabajo en grupos por sectores definidos:

Los participantes fueron divididos en los siguientes grupos según sectores:

- **ENERGÍA – FUENTES MÓVILES (TRANSPORTE).**
- **ENERGÍA – FUENTES FIJAS Y EMISIONES FUGITIVAS.**
- **INDUSTRIAL (LADRILLERAS, METALÚRGICAS, ETC.).**
- **AGRICULTURA Y DESECHOS.**

El facilitador de cada grupo presentó en detalle los resultados obtenidos y la información utilizada. Posteriormente, se procedió con un intercambio de ideas y aportes a lo presentado. Para ello, y a manera de apoyo, se dispuso de una serie de preguntas abiertas, tales como:

- ¿Cree/Sabe si existe mejor información, más actualizada o de alguna fuente más oficial?
- ¿Cree/Sabe si existe mejor fuente para consultar un factor de emisión específico?
- ¿La proyección de emisiones presentada es la adecuada? ¿De no ser así, cómo debería ser y cómo se podría sustentar?

Además, se presentó a cada uno de los grupos, una serie de preguntas específicas por sector, las mismas que fueron discutidas entre los participantes.

**→ PUESTA EN COMÚN DEL TRABAJO REALIZADO POR LOS GRUPOS:**  
Cada uno de los grupos presentó las ideas principales debatidas y las principales recomendaciones realizadas.

### 6.3.3 REVISIÓN DE RESULTADOS PRELIMINARES CON ESPECIALISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES

Como una segunda y final etapa de revisión, tras incorporación de los comentarios y recomendaciones realizadas por los especialistas técnicos de las entidades públicas y privadas peruanas, se compartieron los resultados y la metodología del inventario con los especialistas de distintas instituciones internacionales con amplia experiencia en el tema de calidad del aire y cambio climático.

Para la revisión se contó con las instituciones líderes de la iniciativa SNAP del CCAC, así como especialistas de instituciones que trabajan localmente. Los participantes de este proceso de revisión fueron:

- Especialistas de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés).
- Especialistas del Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés)
- Especialistas del Centro Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (MCE2).
- Especialista del Centro Mario Molina de Chile (CMMCh)
- Especialista en Aire de la Dirección General de Calidad Ambiental
- Experto integrado en calidad del aire de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) en el Perú.
- Especialista en cambio climático de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO) de Suiza en el Perú.

# 6.4 INFORMACIÓN ADICIONAL

A continuación se presenta el oficio n.º 060-2017-MML/GTU-SRT facilitado por el Ministerio de Energía y Minas, en el que la Gerencia de Transporte Urbano de la Municipalidad Metropolitana de Lima presenta datos relevantes del sector transporte:

"Cero del Buen Servicio al Ciudadano"


**MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA**  
 GERENCIA DE TRANSPORTE URBANO  
 SUBGERENCIA DE REGULACIÓN DEL TRANSPORTE

Lima, 24 MAR. 2017

**OFICIO N° 060-2017-MML/GTU-SRT**

**Señor:**  
 Javier David Campos Gavilán  
 Director general de Eficiencia Energética (e)  
 Ministerio de Energía y Minas  
 Av. Las Artes Sur 200  
 Distrito de San Borja-

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS  
 SISTEMA NACIONAL DE REGISTRO DE HECHOS Y ACTOS

**RECIBIDO**

30/03/2017

Nº Registro : **2692617**

ORG : JPLMA Hora : 02:28

La recepción del documento es en calidad de conformidad

DIGITALIZADO

**Asunto :** Información de transporte público (regular y taxis)  
**Referencia:** Oficio N° 124-2017-MEM/DGEE (Documento Simple N° 71428-2017)

Tengo el agrado de dirigirme a usted, en atención al documento de la referencia, mediante el cual su despacho, solicita cantidad de Taxis, combis, coaster y buses por tipo de combustible, entre otros datos.

Respecto a lo solicitado, esta dependencia procedió a realizar la consulta en el Sistema Integrado de Transporte Urbano (SITU-Intranet) y/o verificación de la documentación remitida por la Subgerencia de Servicio de Taxi del cual se desprende los siguientes reportes:

**Punto N° 2 y N° 3 (Participación de los tipos de combustible que consumen los taxis (Diesel-DB5, Gasohol, GLP, GNV y la cantidad de buses, coaster y camionetas rurales que operan en Lima).**

En cuanto, a estos puntos la Gerencia de Transporte Urbano, cuenta con un registro por modalidad, tipo y clase de vehículo diferente; tal como lo muestra el siguiente reporte:

**modalidad de servicio de Taxi**

Modalidad	Cantidad
Taxi Independiente	55073
Taxi Estación	27353
Taxi Remiso	4871
<b>Total</b>	<b>87297</b>

Fuente: Reporte verificado por la Subgerencia de Servicio de Taxi (Memorando N° 1784-2017-MML/GTU-SST)

**\*Tipo de combustible del Servicio de Taxi.**

TIPO DE COMBUSTIBLE	CANTIDAD DE VEHICULOS HABILITADOS
Bicombustible GLP	7136
Bicombustible GNV	46506
Bicombustible GNL	74
DUAL	12398
GAS	521
GASOLINA	14332
GLP	847
GNL	2
GNV	1284
PETROLEO	4103
<b>Total</b>	<b>87297</b>

**\*Por modalidad de Servicio de Transporte Público Regular**

Tipología y/o Clase de vehículo	N° de unidades	Total
Camioneta Rural	3899	3899
Microbús	5919	5919
Ómnibus	5532	5532
<b>Total</b>		<b>15 350</b>

Fuente: Reporte Extraído del SITU-Intranet.

**Punto N° 4, N° 5 y N° 6 (Participación de los tipos de combustibles que consumen los buses, coaster y combis).**

TIPO DE COMBUSTIBLE	TIPO Y/O CLASE DE VEHICULO		
	CAMIONETA RURAL	MICROBÚS	ÓMNIBUS
Bicombustible GLP	25	4	0
Bicombustible GN	30	4	4
Bicombustible GNL	0	0	0
DUAL	1	1	1
GAS	0	31	12
GASOLINA	39	8	3

SRT/AUT01

SUBGERENCIA DE REGULACIÓN DEL TRANSPORTE  
 Jr. Antezelo Vargas 1733 - Lima Cercado Teléfono: 632-4405  
 "Véase nuestra página Web: <http://www.gtu.munlima.gob.pe/>"

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"



MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA  
GERENCIA DE TRANSPORTE URBANO  
SUBGERENCIA DE REGULACION DEL TRANSPORTE

GLP	1	0	2
GNL	0	0	4
GNV	6	192	1974
PETROLEO	3797	6681	3532
<b>Sub - Total</b>	<b>3899</b>	<b>6919</b>	<b>6532</b>
<b>Total</b>		<b>15 350</b>	

Fuente: Reporte extraído del SITU-Intransit.



Asimismo, precisamos que lo requerido en el punto 1, respecto a la cantidad de taxis formales e informales en el Callao, no es posible brindarla, ya que la Municipalidad Provincial del Callao, no ha brindado información alguna en cuanto a la flota padrón del servicio de taxi autorizados por dicha Comuna.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,



MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA  
GERENCIA DE TRANSPORTE URBANO  
SUB GERENCIA DE REGULACION DEL TRANSPORTE

ABOG. REGINA ESTHER COZ VELASQUEZ  
SUBGERENTE



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Av. Antonio Miroquesada 425  
Magdalena del Mar, Lima - Perú  
Dirección de Calidad Ambiental y Ecoeficiencia  
(51) 6116000  
[www.gob.pe/minam](http://www.gob.pe/minam)