

RAGEI 2019

REPORTE ANUAL DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR
ENERGÍA 2019



CATEGORÍAS:

**COMBUSTIÓN ESTACIONARIA
Y EMISIONES FUGITIVAS**

Reporte Anual De Gases De Efecto Invernadero del Sector Energía 2019.
Categoría: Combustión estacionaria y emisiones fugitivas

Preparado por:
Ministerio de Energía y Minas
Viceministerio de Energía
Dirección General de Eficiencia Energética

Lima, 2023

CONTENIDO

✓	RESUMEN EJECUTIVO	7
1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR	10
2.1.	Análisis de la oferta	10
2.2.	Análisis de la demanda	14
3.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI	16
3.1.	Organización para la elaboración del RAGEI	16
3.2.	Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI	16
3.3.	Control de calidad y garantía de la calidad del RAGEI	17
3.3.1.	Control de calidad	18
3.3.2.	Garantía de calidad	19
4.	METODOLOGÍA APLICADA	24
4.1.	Metodología para el cálculo de emisiones de GEI	24
4.2.	Metodología para el análisis de incertidumbre	25
4.2.1.	Actividades de quema de combustibles	26
4.2.2.	Emisiones fugitivas por la fabricación de combustibles	26
4.3.	Metodología para garantizar la serie temporal	27
5.	RESULTADO SECTORIAL	29
5.1.	Análisis de resultados	29
5.2.	Resultados incertidumbre	34
5.2.1.	Quema de combustibles (1A)	34
5.2.2.	Emisiones fugitivas provenientes de fabricación de combustibles (1B)	36
5.3.	Resultados serie temporal	36
5.3.1.	Actualización de emisiones de la serie temporal	36
5.3.2.	Tendencia de emisiones	37
6.	RESULTADOS POR CATEGORÍA	39
6.1.	Actividades de quema del combustible (1A)	39
6.1.1.	Método de cálculo	39
6.1.2.	Ecuaciones utilizadas para la categoría 1A	41
6.1.3.	Datos de actividad	42
6.1.4.	Factores de emisión y de conversión	46
6.1.5.	Análisis de resultados	48
6.1.5.1.	Industrias de la energía – Subcategoría 1A1	49
6.1.5.2.	Industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2	50
6.1.5.3.	Otros sectores – Subcategoría 1A4	52

6.1.6. Sigüientes pasos	53
6.2. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles (1B)	55
6.2.1. Método de cálculo.....	55
6.2.1.1. Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos (1B1).	55
6.2.1.2. Emisiones fugitivas por producción de petróleo y gas natural (1B2).	56
6.2.2. Ecuaciones utilizadas para la categoría 1B.....	59
6.2.3. Datos de actividad	60
6.2.4. Factores de emisión	61
6.2.5. Resultados	62
6.2.5.1. Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos – Subcategoría 1B1.	63
6.2.5.2. Emisiones fugitivas por producción de petróleo – Subcategoría 1B2a.	63
6.2.5.3 Emisiones fugitivas por producción de gas natural – Subcategoría 1B2b.	64
6.2.6. Sigüientes pasos	65
7. EMISIONES INFORMATIVAS	66
8. METODO DE REFERENCIA	68
8.1. Metodología	68
8.2. Análisis comparativo entre el Método de Referencia y el Método por Sectores	70
✓ 70	
9. ANEXOS	71

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Sistema de archivo digital del RAGEI - 2019</i>	16
<i>Tabla 2. Procedimientos generales de control de calidad 2019</i>	18
<i>Tabla 3. Comentarios recibidos por revisor internacional y acción tomada</i>	20
<i>Tabla 4. Acciones de mejora implementadas en el RAGEI (2019) en base a la revisión del equipo sectorial</i>	22
<i>Tabla 5. Categoría de emisiones del sector energía y las emisiones estimadas</i>	24
<i>Tabla 6. Cálculos ajustados del sector energía: Combustión Estacionaria y emisiones Fugitivas</i>	25
<i>Tabla 7. Nivel de incertidumbre asociado con los datos de actividad de combustión estacionaria</i>	26
<i>Tabla 8. Niveles de incertidumbre determinados para los datos nacionales de los niveles de actividad</i>	26
<i>Tabla 9. Incertidumbre de los datos de actividad para la categoría 1B</i>	27
<i>Tabla 10. Incertidumbre de los factores de emisión para la categoría 1B</i>	27
<i>Tabla 11. Emisiones de GEI y precursores, del sector energía (excluido transporte) – 2019</i>	30
<i>Tabla 12. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones por actividades de quema de combustibles del RAGEI (Categoría 1A)</i>	35
<i>Tabla 13. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones fugitivas por fabricación de combustibles del RAGEI. (Categoría 1B)</i>	36
<i>Tabla 14. Serie temporal de emisiones (Gg CO₂eq) originales y actualizadas: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016</i>	36
<i>Tabla 15. Método de cálculo empleado para cada GEI y fuente de emisión en la categoría 1A.</i>	41
<i>Tabla 16. Datos de actividad y fuentes de información de la categoría 1A.</i>	43
<i>Tabla 17. Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria</i>	46
<i>Tabla 18. Valor calórico neto de los combustibles producidos en Perú</i>	46
<i>Tabla 19. Densidades de los combustibles producidos en Perú</i>	47
<i>Tabla 20. Valor calórico neto (TJ/Gg) de los combustibles producidos en Perú y del IPCC</i>	47
<i>Tabla 21. Densidades de los combustibles producidos en Perú</i>	48
<i>Tabla 22. Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI en base a la revisión del equipo sectorial</i>	53
<i>Tabla 23. Método de cálculo empleado para cada GEI y fuente de emisión en la categoría 1B.</i>	57
<i>Tabla 24. Datos de actividad y fuentes de información de la categoría 1B.</i>	58
<i>Tabla 25. Factor de emisión del metano de la minería subterránea del carbón</i>	60
<i>Tabla 26. Factores de emisión de nivel 1 para las emisiones fugitivas (incluidos el venteo y la quema en antorcha) procedentes de las operaciones de petróleo en los países en desarrollo y en los países con economías en transición</i>	60
<i>Tabla 27. Factores de emisión de nivel 1 para las emisiones fugitivas (incluidos el venteo y la quema en antorcha) procedentes de las operaciones gas natural en los países en desarrollo y en los países con economías en transición</i>	60
<i>Tabla 28. Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI en base a la revisión del equipo sectorial</i>	63
<i>Tabla 29. Productos usados como alimentación a procesos, reductores y para fines no energéticos</i>	67
<i>Tabla 30. Comparación de emisiones de GEI entre métodos del IPCC</i>	68
<i>Tabla 31. Composición molar del gas natural distribuido por Pluspetrol</i>	71
<i>Tabla 32. Peso molecular del gas natural y participación en peso de carbono</i>	71
<i>Tabla 33. Análisis comparativo del factor de emisión nacional para gas natural con valores de IPCC</i>	72
<i>Tabla 34. Factores de emisión de la fuente Industrias de la energía (1A1)</i>	73
<i>Tabla 35. Factores de emisión de la fuente Industrias de la manufactura y construcción (1A2)</i>	73
<i>Tabla 36. Factores de emisión de las fuentes: Comercial/Institucional (1,A,4,a) y Agricultura/Pesquería (1,A,4,c,)</i>	74
<i>Tabla 37. Factores de emisión de la fuente Residencial (1A4b)</i>	74

Lista de gráficos

Gráfico 1: Participación de las emisiones de GEI según fuente	7
Gráfico 2: Estimaciones históricas de GEI del sector Energía: Combustión estacionaria y emisiones fugitivas	8
Gráfico 3: Datos históricos de las emisiones nacionales de GEI de consumo final en los sectores industrial, residencial, comercial, agricultura y pesca y PBI	10
Gráfico 4: Tendencia de la generación de electricidad - Mercado eléctrico	10
Gráfico 5: Participación de la generación de energía eléctrica- 2019	11
Gráfico 6: Consumo de combustibles para la generación de electricidad – 2019	11
Gráfico 7: Consumo de combustibles para actividades de industrias energéticas - 2019	12
Gráfico 8: Producción histórica de petróleo	12
Gráfico 9: Producción histórica de gas natural en campo	13
Gráfico 10: Datos históricos del gas natural quemado y venteado por operaciones de producción	13
Gráfico 11: Datos históricos del gas natural reinyectado	14
Gráfico 12: Consumo caracterizado de combustibles de los sectores económicos en 2019	14
Gráfico 13: Tendencia del consumo de combustible en los sectores económicos excluyendo el sector transporte	15
Gráfico 14: Sistema de archivo	17
Gráfico 15: Emisiones nacionales de GEI del sector energía – combustión estacionaria - 2019	29
Gráfico 16: Emisiones nacionales de gases precursores del sector energía (categoría 1A) – 2019	30
Gráfico 17: Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) del sector energía por categoría – 2019	33
Gráfico 18: Histograma: Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) del sector energía según fuente de emisión-2019	34
Gráfico 19: Actualización de las emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) reportados en los anteriores RAGEI del Sector Energía estacionaria y emisiones Fugitivas.	37
Gráfico 20. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) históricas del sector energía estacionaria y emisiones fugitivas, totales y por categorías principales.	38
Gráfico 21. Árbol de decisión general para estimar las emisiones de la combustión estacionaria	40
Gráfico 22. Emisiones de GEI según combustibles - 2019	48
Gráfico 23. Emisiones de GEI (Gg de CO ₂ eq) según fuentes y combustibles – Categoría 1A	49
Gráfico 24. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) por fuente de emisión y GEI de las industrias de la energía – Subcategoría 1A1.	49
Gráfico 25. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) y participación por combustible de las industrias de la energía- Subcategoría 1A1	50
Gráfico 26. Emisiones de GEI por fuente de emisión de las industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2.	51
Gráfico 27. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) y participación por combustible de las industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2.	51
Gráfico 28. Emisiones de GEI por fuente de emisión de otros sectores – Subcategoría 1A4.	52
Gráfico 29. Emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) y participación por combustible de otros sectores – Subcategoría 1A4	52
Gráfico 30. Árbol de decisión para las minas de carbón subterráneo	54
Gráfico 31. Árbol de decisión para los sistemas de gas natural	55
Gráfico 32. Árbol de decisión para la producción de petróleo crudo	56
Gráfico 33. Emisiones fugitivas por la fabricación de combustibles – Categoría 1B	61
Gráfico 34. Emisiones fugitivas (GgCO ₂ eq) por producción de combustibles sólidos – Subcategoría 1B1.	61
Gráfico 35. Emisiones fugitivas (Gg CO ₂ eq) por producción de petróleo – Subcategoría 1B2a	62
Gráfico 36. Emisiones fugitivas (GgCO ₂ eq) por producción de gas natural – Subcategoría 1B2b	62
Gráfico 37. Emisiones informativas de CO ₂ por quema de biomasa, por combustible	64
Gráfico 38. Emisiones informativas de CO ₂ por quema de biomasa, por categoría y combustible	65

ABREVIATURAS

AEE	Anuario Estadístico de Electricidad
API	Instituto Americano de Petróleo (del inglés <i>American Petroleum Institute</i>)
BNE	Balance Nacional de Energía
BUR	Informe Bienal de Actualización (del inglés <i>Biennial Update Report</i>)
CH ₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO ₂	Dióxido de carbono
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
DGE	Dirección General de Electricidad
DGEE	Dirección General de Eficiencia Energética
GEI	Gases de efecto invernadero
Gg CO ₂ eq	Gigagramos de dióxido de carbono equivalente
GLP	Gas licuado de petróleo
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (del inglés <i>International Panel on Climate Change</i>)
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
N ₂ O	Óxido nitroso
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (del inglés <i>National Determined Contributions</i>)
PBI	Producto Bruto Interno
RAGEI	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SA	Sistema Aislado
TJ	Terajoules

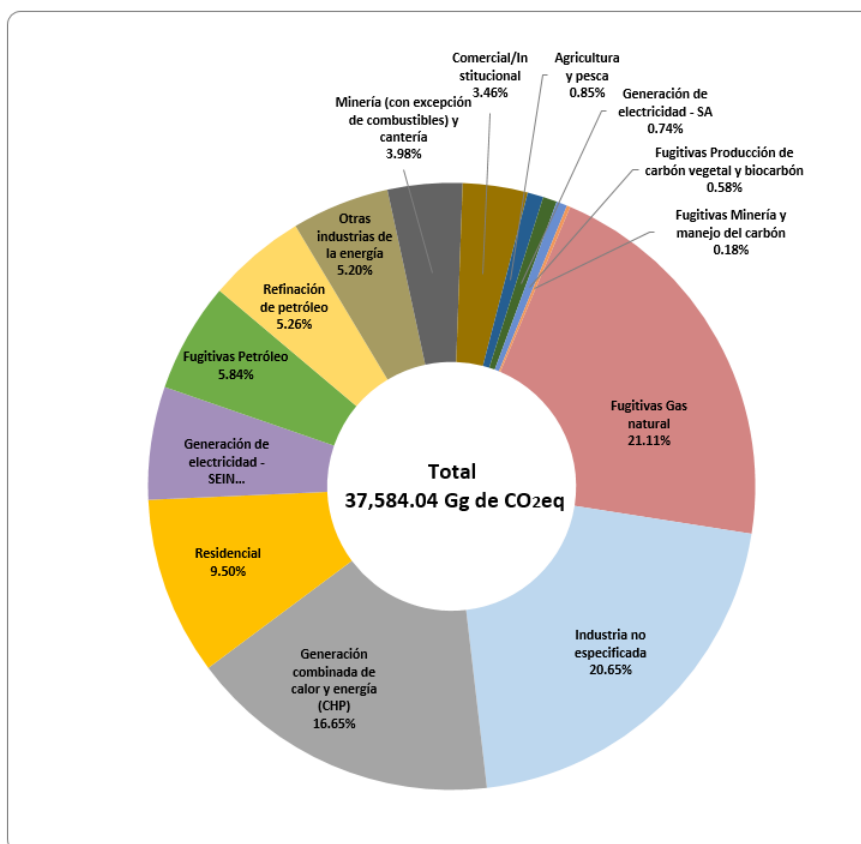
RESUMEN EJECUTIVO

El presente Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) describe el proceso de estimación y resultados de las emisiones de GEI y gases precursores de GEI del sector energía correspondientes al año 2019 para las categorías de i) Combustión Estacionaria y ii) Emisiones fugitivas, siguiendo las Directrices de 2006 del Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) para los inventarios nacionales de GEI (en adelante, Directrices del IPCC de 2006).

El RAGEI 2019 reporta los valores de GEI en forma agregada, expresados en dióxido de carbono equivalente (CO_2eq), utilizando el Poder de Calentamiento Global (PCG) proporcionados por el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés), que se basan en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de cien años.

Las emisiones de GEI del sector energía estacionaria y emisiones fugitivas resultaron en 37,584.04 GgCO_2eq para el año 2019, siendo las principales fuentes de emisión, por su representatividad: Las emisiones fugitivas de las actividades de gas natural y las generadas por quema de combustibles en industria no especificada (industrias manufactureras del país), industrias de generación combinada de calor y energía (CHP), instituciones residenciales e industrias de generación de electricidad – SEIN. Estas cinco (5) fuentes de emisión agregan el 73.92% de las emisiones cubiertas por este RAGEI.

Gráfico 1: Participación de las emisiones de GEI según fuente

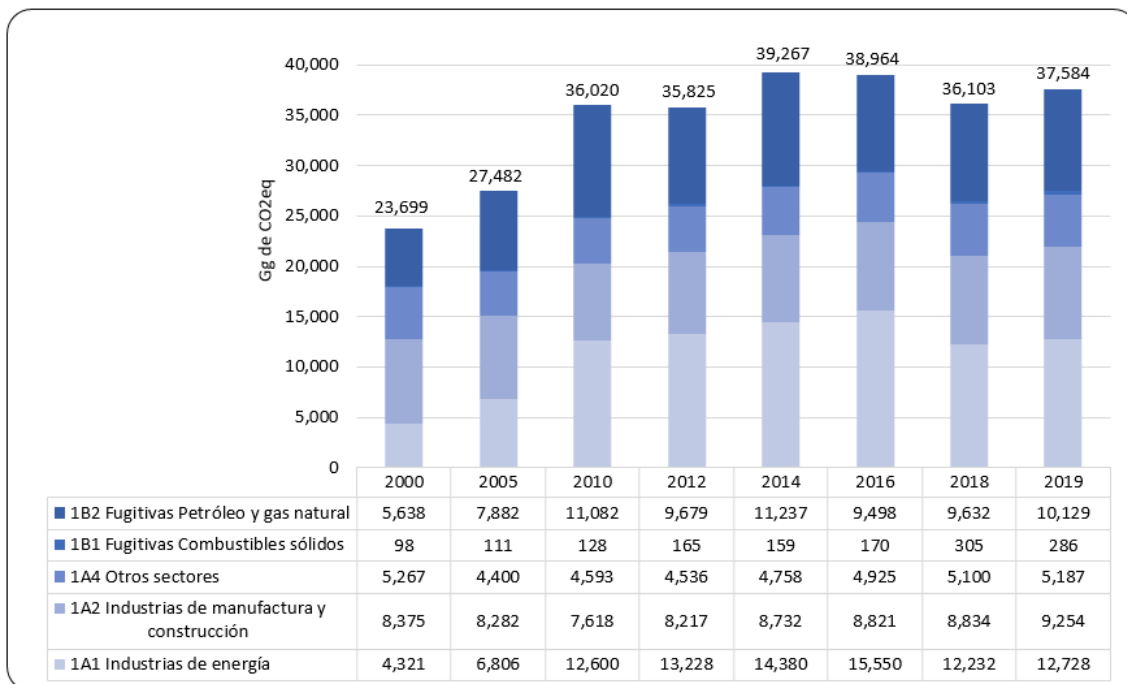


Fuente: DGEE-MINEM

Se han actualizado las estimaciones de GEI correspondientes a los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016. Esto tomando en consideración algunas actualizaciones de los datos de actividad,

mejoras metodológicas en el cálculo y cambio en los PCG empleados. Respecto a la evolución de las emisiones de GEI, se aprecia que las emisiones totales abarcadas por el presente RAGEI, presentaron una tendencia creciente hasta alcanzar un pico en 2014, y posteriormente comenzar a decrecer, con una caída importante en el 2018. Este comportamiento se debe principalmente a que, en el 2018 y 2019 se redujeron las emisiones generadas por las industrias de la energía, principalmente por la disminución del consumo de combustibles en la generación de energía, los cuales fueron desplazados por el uso de energías renovables no convencionales e hidroeléctricas. Es así como en el 2016, la generación de electricidad en termoeléctricas a partir de gas natural y carbón fue del 52%, mientras que en 2018 y 2019 fue del 38 y 39% respectivamente.

Gráfico 2: Estimaciones históricas de GEI del sector Energía: Combustión estacionaria y emisiones fugitivas



Fuente: DGEE-MINEM

El RAGEI contiene mejoras respecto a las estimaciones realizadas anteriormente. Esto debido a la revisión exhaustiva del equipo de la Dirección General de Eficiencia Energética. Entre las mejoras incluidas en el presente RAGEI se resaltan los siguientes: i) revisión e identificación de las empresas de generación de electricidad cuya actividad principal no es la generación de electricidad, ii) actualización de la información del consumo final histórico de energía reportados en el BNE, iii) cambio de categoría por la producción de carbón vegetal, iv) mejora de los cálculos de incertidumbre, v) estandarización de las planillas Excel de la serie temporal, vi) estimación de las emisiones de gases precursores de la serie temporal. La revisión de las estimaciones anteriores ha permitido generar un RAGEI más exhaustivo y preciso.

1. INTRODUCCIÓN

El presente es el tercer Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) del Sector Energía elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) a través de la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE). Este reporte considera las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por fuentes de combustión estacionaria y emisiones fugitivas, no considera la combustión por fuentes móviles al ser esta una actividad de trabajo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

El RAGEI aquí presentado corresponde al año 2019 e incluye la cuantificación de las emisiones de GEI generadas en este año, pero además presenta la actualización de las estimaciones de GEI para los años reportados en los dos primeros RAGEI: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016. Además, en los resultados descritos para la serie histórica, se incluyen las estimaciones de las emisiones para el 2018.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia para el sector porque permiten identificar cuáles son las actividades que generan mayores emisiones de GEI en la actualidad y, además evaluar sus respectivas tendencias históricas. En ese sentido, el RAGEI es un instrumento de gestión importante para la toma de decisiones en lo que refiere a la mitigación del cambio climático, gestión muy necesaria para el Perú y otros países que forman parte de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y del Acuerdo de París, al estar comprometidos a reducir, en el marco de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), importantes cantidades de GEI.

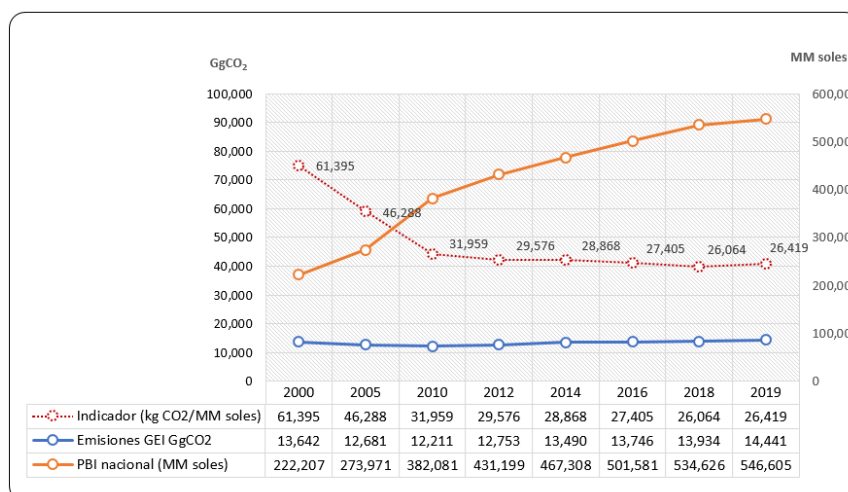
Este RAGEI incluye también la cuantificación de emisiones de los gases precursores de GEI, los cuales afectan al ambiente y bienestar social. Dicha cuantificación permite aproximar los impactos atmosféricos generados por cada una de las actividades del sector energía.

El desarrollo del presente RAGEI ha sido logrado gracias al apoyo y coordinación constante con la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del Ministerio del Ambiente (MINAM).

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR

A nivel nacional, las emisiones GEI derivadas del consumo final de energía en los sectores industrial, minería, residencial, comercial, público, agricultura y pesca, presentan de manera general una tendencia de crecimiento. Lo mismo sucede con el PBI nacional, aunque este presenta una tendencia de mucho mayor de crecimiento, como se puede observar en el Gráfico 3.

Gráfico 3: Datos históricos de las emisiones nacionales de GEI de consumo final en los sectores industrial, residencial, comercial, agricultura y pesca y PBI



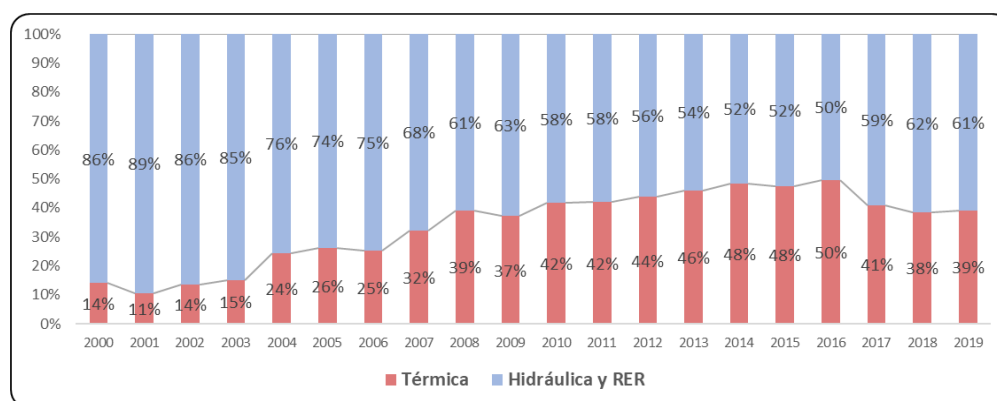
Fuente: DGEE-MINEM

En el Gráfico 3 también se incluye un indicador que es el cociente entre las emisiones GEI descritas y el valor nacional del PIB. Los resultados indican que, a pesar que las emisiones incrementan, la intensidad de las emisiones por valor de PIB ha ido decreciendo con el pasar del tiempo.

2.1. Análisis de la oferta

En esta sección se presenta y analiza las distintas fuentes de emisión de GEI de los procesos de generación de energía. Inicialmente se aborda el comportamiento del sistema de generación de electricidad del SEIN del Perú, la principal fuente de emisión de GEI del país y posteriormente otras fuentes.

Gráfico 4: Tendencia de la generación de electricidad - Mercado eléctrico

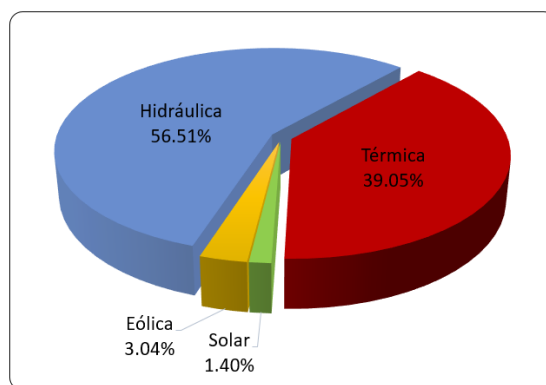


Fuente: DGEE-MINEM

Tal como se puede apreciar en el Gráfico 4, históricamente la electricidad en el Perú ha sido generada en su mayoría en las centrales hidroeléctricas y con energías renovables. Para el año 2016, la electricidad fue generada de forma casi equitativa entre centrales de generación térmica y otro tipo de centrales (hidráulicas y RER) pero posteriormente, las hidroeléctricas han tenido una mayor participación, llegando a representar el 61% de la generación en 2019.

En el año 2019, la energía eléctrica fue generada con una participación del 56,5% de centrales hidráulicas, 39,0% por centrales térmicas y un 4,4% por energías renovables no convencionales (1,4% solar y 3,0% eólica). Estas últimas han entrado desde el año 2012 y año tras años vienen teniendo mayor participación, aunque con un crecimiento lento.

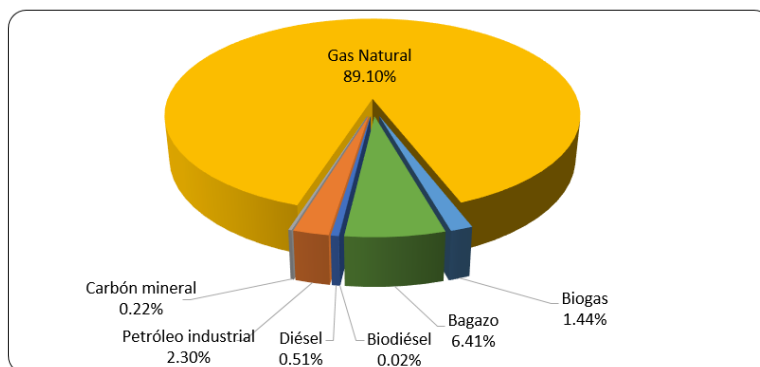
Gráfico 5: Participación de la generación de energía eléctrica - 2019



Fuente: DGEE-MINEM

Respecto al consumo de combustibles por centrales termoeléctricas, se consumió aproximadamente 166,956.87 TJ de los cuales la mayoría proviene del uso del gas natural. En menores cantidades se consumió diésel¹, petróleo industrial, carbón mineral, biogás y bagazo.

Gráfico 6: Consumo de combustibles para la generación de electricidad – 2019



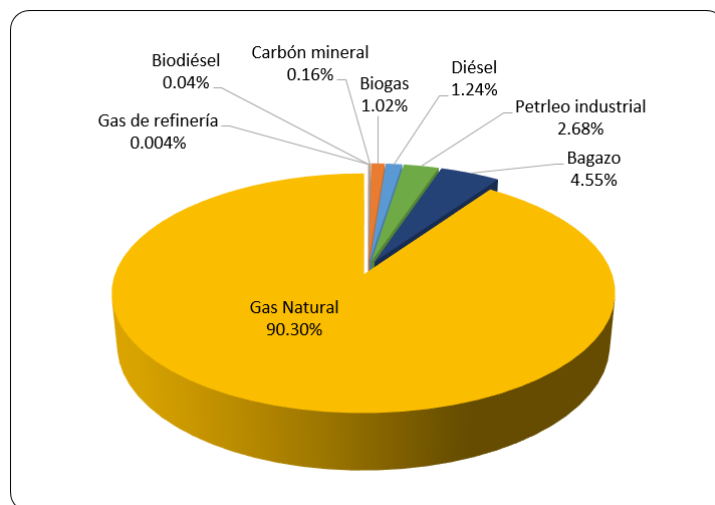
Fuente: DGEE-MINEM

En adición a la energía requerida para la generación de electricidad, existe un consumo necesario para todas las actividades propias de las industrias energéticas (producción, transformación, transporte y distribución de la energía). En el año 2019, se consumieron aproximadamente 235,163.93 TJ por estas actividades, de los cuáles la mayoría también provino

¹ Para efectos de la elaboración del RAGEI, se realiza una separación de la demanda de biodiesel y diesel. Es decir, el biodiesel no se consume directamente, sino que este es usado para ser mezclado con diésel y obtener Diesel B5 como producto comercial.

del consumo de gas natural y en cantidades inferiores de combustibles como bagazo, diésel, leña, gas de refinería y petróleo industrial.

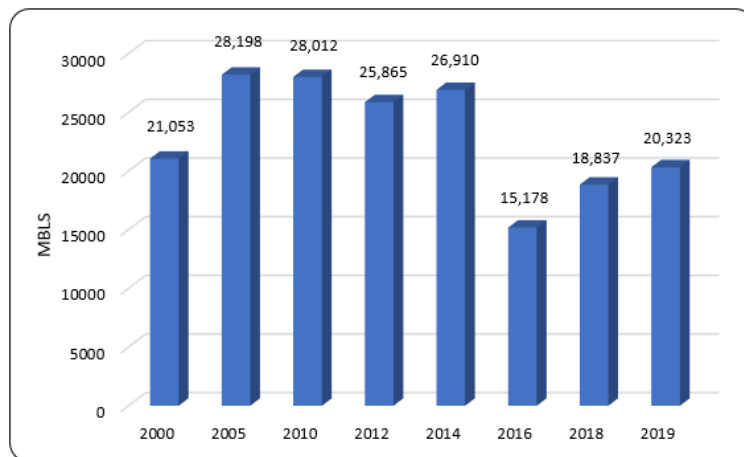
Gráfico 7: Consumo de combustibles para actividades de industrias energéticas - 2019



Fuente: DGEE-MINEM

En relación a las emisiones fugitivas se presenta a continuación las cantidades producidas tanto de petróleo como de gas natural. Respecto al petróleo se tienen datos que presentan tendencias de decrecimiento en su producción en la serie temporal, por ejemplo, en el 2019 se ha producido 24% menos petróleo que en el año 2014.

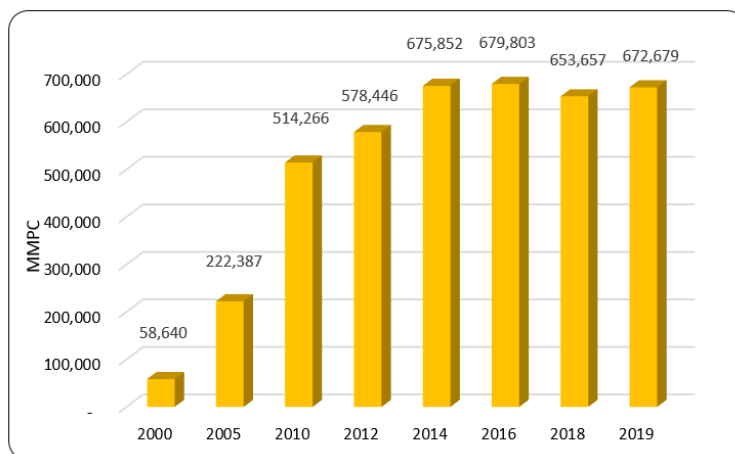
Gráfico 8: Producción histórica de petróleo



Fuente: DGEE-MINEM

Respecto al gas natural, que es uno de los principales combustibles que se consume nacionalmente, se tienen tendencias de crecimiento positivo hasta el 2016 y posteriormente una producción casi constante.

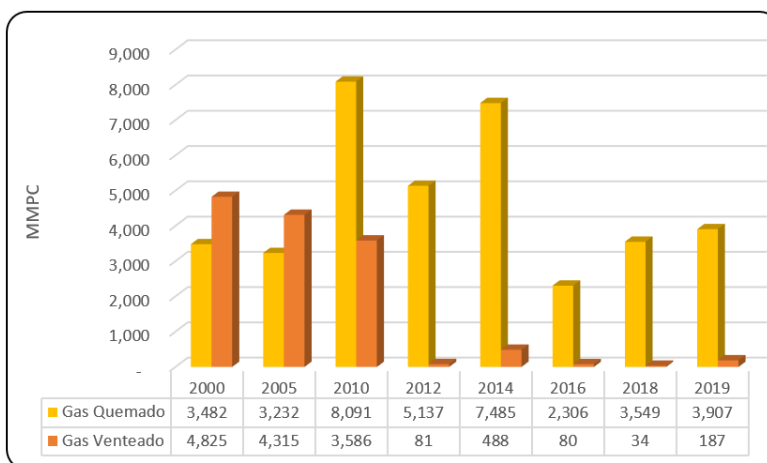
Gráfico 9: Producción histórica de gas natural en campo



Fuente: DGEE-MINEM

Sin embargo, si analizamos las acciones que repercuten sobre las emisiones fugitivas de GEI como son el gas quemado (principalmente) y gas venteado los datos históricos presentan que el gas natural venteado inicialmente presenta una tendencia decreciente, con una leve recuperación en 2019. En el caso del gas natural quemado este presenta una tendencia irregular, con un pico en 2014 y el valor más bajo en 2016.

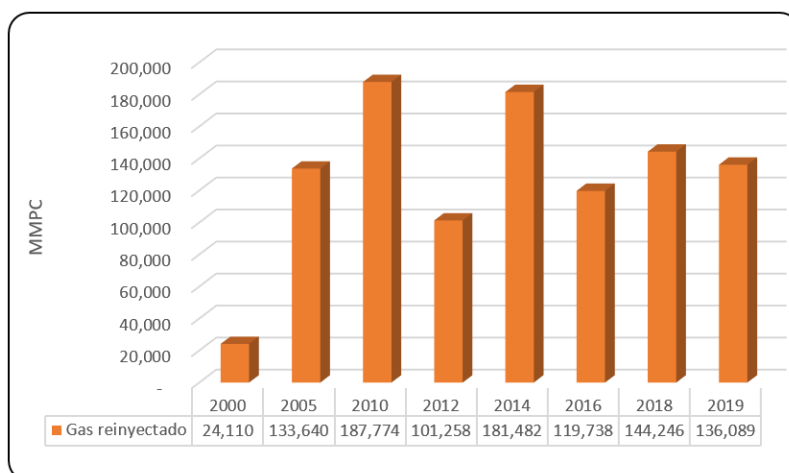
Gráfico 10: Datos históricos del gas natural quemado y venteado por operaciones de producción



Fuente: DGEE-MINEM

Finalmente, el gas natural reinyectado también influye sobre las emisiones fugitivas del RAGEI, los datos históricos sobre esta variable presentan un comportamiento irregular con los años, tal como se aprecia en el Gráfico 11.

Gráfico 11: Datos históricos del gas natural reinyectado



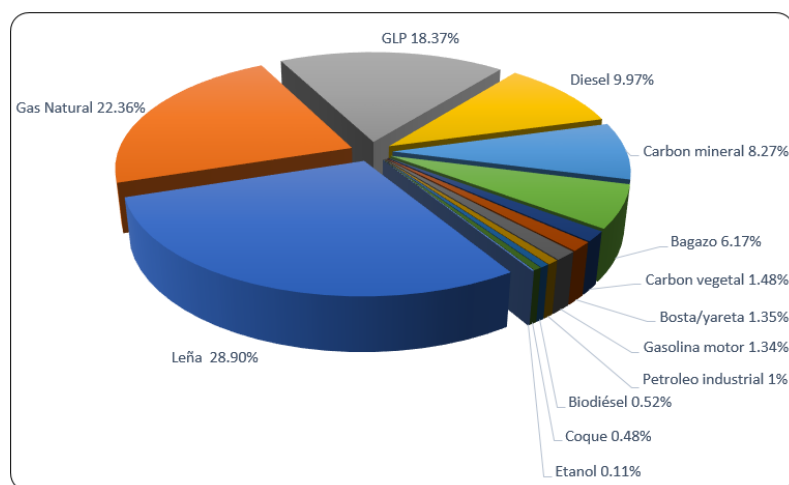
Fuente: DGEE-MINEM

2.2. Análisis de la demanda

En cuanto al consumo de combustibles requeridos por los distintos sectores económicos, se encuentra que los combustibles que se consumen mayoritariamente (en unidades energéticas) y por orden decreciente son la leña, gas natural, gas licuado de petróleo, diésel B5 y carbón mineral.

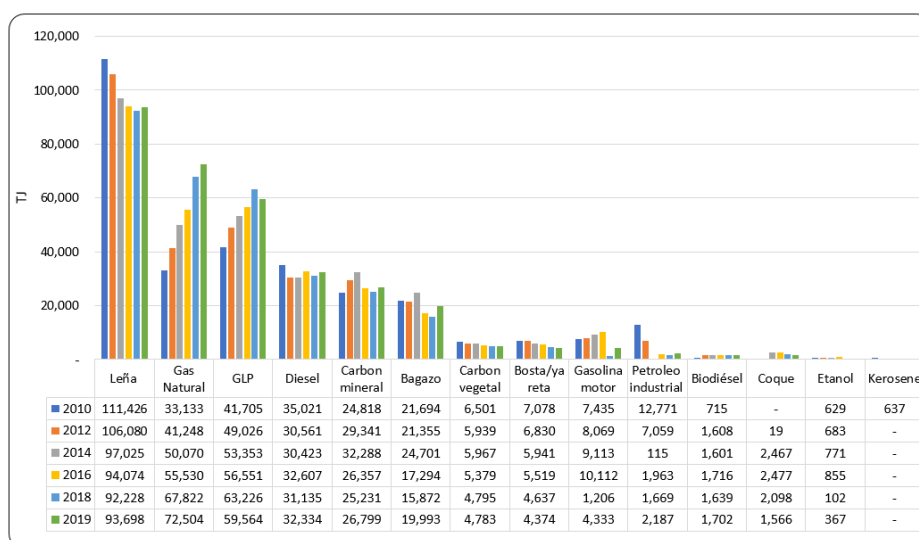
La leña es el combustible que se consume principalmente en el sector residencial del ámbito rural, es utilizada básicamente para la actividad de cocción de los alimentos. Esta también se consume de forma a considerar en el sector comercial (especialmente en servicios de restaurant y hotelería). El gas natural se consume mayoritariamente por el sector industrial, aunque también en menores pero importantes cantidades en los sectores minería y residencial. El gas licuado de petróleo se consume primordialmente por los sectores residencial e industrial. El diésel se consume principalmente por los sectores minero e industrial y el carbón mineral es de uso predominante en el sector industrial.

Gráfico 12: Consumo caracterizado de combustibles de los sectores económicos en 2019



Fuente: DGEE-MINEM

Gráfico 13: Tendencia del consumo de combustible en los sectores económicos excluyendo el sector transporte



Fuente: DGEE-MINEM

La tendencia del consumo de combustibles es variada, en el caso de la leña, diésel, carbón mineral, petróleo industrial, coque y carbón vegetal existe una tendencia de decrecimiento mientras que para los casos de gas natural y gas licuado de petróleo existe una tendencia notoria de crecimiento.

3. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI

3.1. Organización para la elaboración del RAGEI

De acuerdo con la Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es la entidad competente encargada de la elaboración del RAGEI del Sector Energía – Combustión Estacionaria y Emisiones Fugitivas. Dentro del MINEM, la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) es la responsable de la elaborar y presentar al MINAM el RAGEI en mención.

3.2. Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI

Los niveles de actividad requeridos han sido obtenidos en la mayoría de los casos de documentos oficiales del país (fuentes primarias) entre los que tenemos: Balance Nacional de Energía (2019), Anuario Estadístico de Electricidad (2019) y Estadística petrolera (2019). Se han utilizado los mismos datos de poder calorífico y densidades usados para el RAGEI de 2016 para con ello ser consistentes con la data histórica. Dicha información fue proveída en su momento por distintas instituciones tales como: Petroperú, Calidda y Repsol.

- *Acciones y arreglos implementados para el presente RAGEI*

La elaboración del RAGEI del sector energía correspondiente al año 2019, fue llevado a cabo por el personal de la DGEE, quienes se encargaron de recopilar, procesar y analizar la información y realizar los cálculos presentados en el presente RAGEI.

A nivel de la DGEE, encargada de elaborar los RAGEI, se llegaron a los siguientes acuerdos institucionales internos:

- ✓ Se encargó de coordinar este proceso, quien dispondrá de un coordinador para tal fin.
- ✓ Se recibió acompañamiento y soporte técnico proveído por el MINAM, tal como se señala en el artículo 5, inciso d, del Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM que crea el INFOCARBONO.
- ✓ Se estableció un cronograma de trabajo, el cual estará bajo supervisión constante del coordinador.
- ✓ Se identificarán acciones que faciliten el proceso de elaboración del RAGEI.

- *Sistema de Archivo*

Se ha creado una carpeta digital que contiene todos los archivos concernientes a la elaboración del RAGEI, esta carpeta se estructura y contiene lo siguiente:

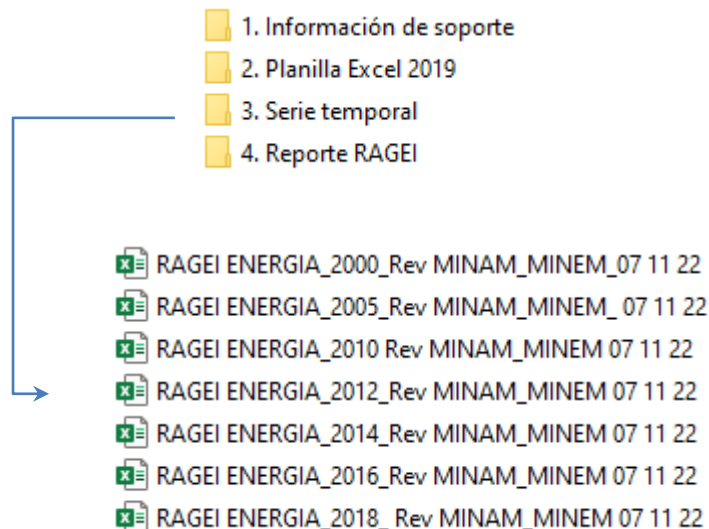
Tabla 1. Sistema de archivo digital del RAGEI - 2019

Carpeta	Contenido
1. Información de soporte	Datos de actividad Contiene la relación de documentos que poseen parte de la información requerida para la estimación de las emisiones nacionales de GEI del sector energético. Es preciso señalar, que en la planilla Excel del RAGEI 2019 y serie temporal, se precisan los vínculos web u hojas escaneadas de las diferentes publicaciones utilizadas
	Factor de emisión En esta carpeta se encuentra material bibliográfico que describe la metodología seguida para obtener el factor de emisión nacional por quema de gas natural.
2. Planilla Excel 2019	En esta carpeta se encuentra el archivo Excel con el que se estimaron las emisiones de GEI del sector energía del año en que se elaboró el RAGEI. Asimismo, contiene un libro denominado

Carpeta	Contenido
	"Gráficas Informe 2019" en el que se puede apreciar todos los inventarios a la fecha realizados de forma conjunta. Además, se tiene el archivo Excel con el que se estimó las emisiones nacionales de GEI del sector transporte (fuentes móviles). Esta data es relevante para los fines comparativos con el Método de Referencia.
3. Serie Temporal	Aquí se ubican los archivos Excel que contienen las emisiones de GEI de todos los inventarios oficialmente realizados, pero en su versión más reciente (actualizada). (2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018).
4. Reporte	Contiene el informe (RAGEI) propiamente.

Fuente: DGEE – MINEM

Gráfico 14: Sistema de archivo



La información citada en la tabla superior es administrada por los técnicos de la DGEE, quienes al mismo tiempo son los que se encargan de ingresar los documentos requeridos en el portal web del INFOCARBONO.

3.3. Control de calidad y garantía de la calidad del RAGEI

El RAGEI fue sometido a un proceso de control de calidad con la finalidad de evitar posibles errores, los mismos que se puedan suscitar por una mala transcripción de los datos, errores en la conversión de unidades, la ejecución de las estimaciones a través de fórmulas automatizadas, entre otros. Este proceso se ha realizado siguiendo las recomendaciones de las Directrices del IPCC de 2006 y se han aplicado tanto para los niveles de actividad, la planilla de cálculo y los datos y resultados presentados en el siguiente reporte.

Por otro lado, es importante mencionar que el RAGEI 2016 fue revisado por la firma consultora Gauss International Consulting, contratada por Global Green Growth para apoyar al gobierno de Perú en la revisión externa del respectivo RAGEI. Las recomendaciones realizadas por los expertos internacionales se describen en el numeral 3.3.2. Los resultados de dicha revisión fueron tenidos en cuenta para la elaboración de este RAGEI.

Adicionalmente, precisar que este RAGEI también ha sido revisado y las recomendaciones de mejora serán implementadas de forma progresiva en los siguientes reportes. En el anexo 2 se presenta las recomendaciones realizadas.

3.3.1. Control de calidad

A continuación, se describen los procedimientos generales de control de calidad aplicados al RAGEI 2019.

Tabla 2. Procedimientos generales de control de calidad 2019

Procedimientos sugeridos por el IPCC	Procedimientos realizados por MINEM
Efectuar la verificación cruzada de los datos de la actividad, los factores de emisión y otros parámetros de estimación con la información relativa a las categorías y garantizar que estén registrados y archivados correctamente.	Se verificó que los datos de actividad, los factores de emisión y otros parámetros (factores de conversión) han sido registrados y archivados correctamente.
Confirmar que las referencias bibliográficas estén citadas correctamente en la documentación interna.	Se evitaron errores de transcripción cerciorándose que los datos de entrada están bien referenciados.
Efectuar la verificación cruzada de una muestra de datos de entrada de cada categoría (fueran mediciones o parámetros utilizados en los cálculos) para detectar errores de transcripción.	Se realizaron revisiones de datos aleatoriamente garantizando que estos han sido tomados correctamente.
Reproducir un conjunto de cálculos de emisiones y absorciones.	Se reprodujeron una serie de cálculos de forma externa a los cálculos propios del RAGEI con fines comparativos y aseguramiento de cálculos realizados.
Controlar que las unidades estén identificadas correctamente en las planillas de cálculos.	Se revisó minuciosamente que las unidades utilizadas figuren en la planilla de cálculo.
Controlar que se mantengan las unidades correctamente desde el comienzo hasta el final de los cálculos.	Se revisó minuciosamente que las unidades utilizadas se apliquen consistentemente en la planilla de cálculo. Algunos errores fueron identificados en pleno proceso de cálculo obteniéndose resultados incoherentes.
Controlar que los factores de conversión sean correctos.	Los factores de conversión respecto a unidades fueron obtenidos de la Agencia Internacional de Energía (IEA), por sus siglas en inglés. Los factores de conversión respecto a las propiedades de los combustibles se trabajaron en base a los datos que fueron entregados por los mismos productores de combustible.
Confirmar que los pasos correctos para el procesamiento de la información se encuentren bien representados en la base de datos.	Se constató a través de análisis de balance de masa, siempre que haya sido factible, que toda la información referida a niveles de actividad ha sido debidamente utilizada. Se compararon los valores utilizados para factores de conversión como poder calorífico y densidad con otras fuentes internacionales de manera que se asegura la utilización de datos coherentes. Se realizaron aleatoriamente algunos cálculos de forma independiente obteniéndose los mismos resultados que figuran en la planilla de cálculo utilizado.
Confirmar que las relaciones de los datos se encuentren bien representadas en la base de datos.	Se realizó la trazabilidad de los datos para de esta manera asegurar que los datos están bien representados.
Garantizar que se archive la documentación adecuada de la estructura y el funcionamiento de la base de datos y del modelo.	Toda la documentación referida a datos utilizados directa o indirectamente (como insumo para la estimación requerida) ha sido debidamente archivada por el compilador encargado de la DGEE.
Identificar parámetros (p. ej. datos de la actividad, constantes) comunes a muchas categorías y confirmar que haya coherencia en los valores usados para estos parámetros en los cálculos de emisión/absorción.	Se compararon resultados obtenidos en distintas fuentes de emisión de GEI que requieren del mismo factor de emisión o conversión de manera que se aseguró la coherencia de estos.
Controlar que se transcriban correctamente los datos de emisiones y absorciones entre los diferentes productos intermedios.	Se ha asegurado que los resultados obtenidos por primera vez han ido escalando de forma correcta hasta los resultados finales.
Comprobar que las incertidumbres calculadas estén completas y hayan sido calculadas correctamente.	Se verificaron los cálculos realizados a través de una revisión minuciosa a los cálculos realizados.
Controlar la coherencia temporal de los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría.	Se compararon los resultados de las emisiones de GEI según fuentes entre todos los inventarios desarrollados a manera de asegurar la coherencia entre dichos resultados.
Verificar la coherencia del algoritmo/método utilizado para los cálculos a través de la serie temporal.	La serie de datos temporales se utilizó para garantizar la coherencia de los resultados.
Verificar los cambios metodológicos y de datos que producen nuevos cálculos.	Se verificaron los cambios metodológicos en los inventarios actualizados.
Confirmar que se declaren las estimaciones para todas las categorías y para todos los años, a partir del año de base correspondiente, hasta el período del inventario actual.	Se identificaron fuentes que anteriormente no fueron consideradas, estas se han actualizado en todos los inventarios elaborados.
Para las subcategorías, confirmar que quede cubierta la categoría en su totalidad.	Se han considerado todas las fuentes de emisión de GEI aunque no al nivel de detalle requerido.
Para cada categoría, deben compararse las estimaciones actuales del inventario con las estimaciones anteriores, si están disponibles. Si hay cambios significativos o divergencias de las tendencias esperadas, volver a controlar las estimaciones y	Se han comparado los resultados obtenidos con los de inventarios anteriores, encontrándose valores cercanos y por tanto coherentes. Para los casos de valores irregulares se revisaron los datos de origen.

Procedimientos sugeridos por el IPCC	Procedimientos realizados por MINEM
explicar las diferencias. La existencia de cambios significativos en las emisiones o absorciones de los años anteriores puede indicar posibles errores de entrada o cálculo.	
Verificar si se advierten tendencias inusuales e inexplicadas para los datos de la actividad u otros parámetros en la serie temporal.	Se verificó y se contrastó con los respectivos niveles de actividad.
Comprobar que exista documentación interna detallada que respalde las emisiones y permita la reproducción de las estimaciones de emisión, absorción e incertidumbre.	Se dispone de todas las referencias a la información utilizada en el RAGEI trabajado.
Comprobar que los datos del inventario, los datos de respaldo y los registros del inventario se archiven y guarden para facilitar la revisión detallada.	Se dispone de una carpeta en donde se almacena toda la información digital utilizada para el proceso de cálculo del RAGEI.
Controlar que el archivo esté cerrado y se conserve en sitio seguro, una vez finalizado el inventario.	Una vez finalizado se creó una copia al informe elaborado y la planilla de cálculo empleado, ambos archivos poseen seguridad a través de una contraseña.
Control de calidad de la elaboración de factores de emisión nacionales – Gas Natural	
Los factores de emisión se basan en ensayos específicos del sitio o del nivel de la fuente, se debe controlar si el programa de medición incluyó los procedimientos de CC adecuados.	Los datos requeridos fueron obtenidos por la empresa Pluspetrol Perú Corporation S.A. No se consultó sobre la existencia de procedimientos de CC pero se comparó la coherencia con los datos obtenidos para los años 2014, 2016, 2018 y 2019.
Investigar la existencia de posibles conflictos de interés.	El desarrollo de este factor de emisión no genera ningún conflicto de interés.
Comparar los factores específicos del país con los factores de emisión por defecto del IPCC pertinentes. Las diferencias sustanciales deben explicarse o determinar si es un problema de calidad de la información.	Se comparó el valor obtenido con el valor por defecto del IPCC obteniéndose una variación de +0.34%.
Control de calidad de datos de actividad a un nivel nacional	
Evaluar y documentar las actividades de CC asociadas al dato nacional, determinando si cumple con los procedimientos de CC general del inventario	Se realizaron acciones de verificación de transcripción de los datos a través de muestreo aleatorio y análisis de balance de masa.
Siempre que sea posible, debe efectuarse un control de comparación de los datos de la actividad nacional con fuentes de datos de la actividad compilados en forma independiente. Ej. datos de estadística ganadera con estadísticas de FAO o consumos de combustible con los datos de Agencia Internacional de Energía (AIE).	Los datos de actividad en su mayoría han sido obtenidos de fuentes primarias, de las que se desconoce si tras esta existe o no un adecuado control de la calidad. No se realizaron comparaciones con fuentes internacionales.
Comparaciones con muestras a nivel sub-nacional o a nivel de plantas. Deben ser representativas y que la técnica de extrapolación capture bien la población total analizada.	En el marco de la elaboración de los balances nacional de energía se desarrolla algunos procedimientos de control de calidad respecto a la información recibida entre las direcciones generales de electricidad e hidrocarburos y las diferentes instituciones privadas que remiten información.
Controlar de tendencia de los datos de la actividad. Dado que se suponen cambios relativamente coherentes año a año, todo cambio sustancial debe documentarse y de ser posible explicar la ausencia de errores.	Se compararon los datos de actividad con los datos históricos para identificar posibles irregularidades entre los datos. Los datos siempre han sido a nivel nacional obtenidos de la misma fuente.

Fuente: DGEE-MINEM

3.3.2. Garantía de calidad

Las principales recomendaciones realizadas por los expertos de Gauss International Consulting, como resultado de la revisión llevada a cabo al tercer RAGEI fueron:

- Los consumos energéticos totales del inventario nacional deben ser consistentes con el consumo de combustible final del balance energético. En caso de existir discrepancias, éstas deben poder ser explicadas por el equipo de inventario y las diferencias se deben explicar en el informe de inventario. Se recomienda realizar una comparación entre los consumos agregados del inventario nacional para cada combustible y los consumos finales oficiales del balance energético. Se recomienda identificar los motivos de las discrepancias y actualizar el inventario, en su caso.
- En línea con la primera recomendación, se recomienda actualizar el enfoque de referencia estimado en el sector energía, realizando una comparación entre el enfoque de referencia

y el enfoque sectorial. La comparación entre los dos enfoques debe ser inferior al 5% sin considerar emisiones fugitivas ni emisiones de CO₂ de la biomasa. En caso de que la comparación entre enfoques sea superior a 5%, se recomienda analizar los casos descritos en la sección 6.8 del capítulo 6, volumen 2 de las Directrices del IPCC de 2006 sobre posibles explicaciones de la diferencia.

- Las estimaciones de CH₄ y N₂O de la biomasa (incluidos biocombustibles líquidos) deben agregarse a los totales nacionales.
- La compilación de las emisiones de combustión estacionaria (categorías 1A1, 1A2, 1A4, 1A5, 1B1 y 1B2) se realiza de forma separada de la combustión móvil (categoría 1A3), por distintos expertos del país. Actualmente no existe una consolidación (integración) de las estimaciones realizadas y los consumos de combustibles utilizados. Las tablas de reporte de inventario tienen que incluir el total del sector energético, y el inventario nacional debe asegurar que los consumos de combustibles utilizados en todos los sectores son consistentes entre sí y consistentes con el balance energético. Por este motivo, se recomienda abordar una mejora de la coordinación entre los compiladores de inventario de combustión móvil y combustión estacionaria, y que se realice un informe y tablas sumario integradas (tablas de variable de actividad, emisiones y factores de emisión para toda la serie temporal). Esto facilitará las actividades de control y aseguramiento de calidad, y facilitará el futuro reporte a la CMNUCC.

En la Tabla 3. a continuación se presenta los resultados de la revisión detallada llevada a cabo en el proceso de aseguramiento de calidad, así como la acción tomada (implementada o no implementada). Posteriormente, en la Tabla 4 se detallan las mejoras implementadas en el RAGEI del 2019.

Tabla 3. Comentarios recibidos por revisor internacional y acción tomada

Elemento AC	Hallazgo, si aplica	Recomendación, ajuste	Acciones Tomadas
Datos de actividad	Enfoque de referencia La diferencia entre el enfoque de referencia y el enfoque sectorial es de un 26.2% para el año 2016. Esta diferencia puede indicar un problema significativo en los datos utilizados. A partir de esta diferencia, se ha identificado una discrepancia entre los consumos a nivel de combustible de la tabla de balance energético (Balance energético consolidado, página 117 de http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/BNE_2016.pdf). Durante la revisión, el equipo de inventario proporcionó información sobre el motivo de algunas discrepancias (el dato de producción de gas natural utilizado en el enfoque de referencia puede no haber sido el adecuado; adicionalmente, en el caso del combustible de aviación, el balance energético no descuenta el consumo para aviación internacional), pero no se pudieron identificar los motivos para las diferencias de consumo de todos los combustibles entre las dos fuentes (balance energético vs enfoque sectorial del inventario). El balance energético contiene la información oficial agregada con respecto al consumo de combustibles del país. Podría haber diferencias entre los consumos totales de combustibles del BE y los consumos considerados en el inventario, pero debemos ser capaces de explicar las diferencias entre las fuentes. Se adjunta una tabla comparativa de combustibles más abajo. En el caso del gas natural es especialmente relevante por su magnitud en el país. Se requiere conocer de forma detallada el consumo aparente del gas natural (producción, exportaciones e importaciones), y definir el consumo a nivel de actividad (en centrales eléctricas, sector residencial, etc.), particularmente los 588,387 TJ en plantas de gas.	Se requiere verificar cuál es el consumo agregado de cada combustible del balance energético, y comparar el consumo del balance energético con el consumo agregado a nivel de combustible del inventario (incluyendo todas las actividades de consumo de combustibles, incluyendo combustión m-ovil). Este tipo de comparaciones son necesarias para verificar que el inventario no está omitiendo consumo de combustibles en alguna actividad. Se recomienda incluir esta comparación como una actividad QC específica del inventario. Se requiere actualizar el enfoque de referencia con la información de producción y consumo consolidada.	En el RAGEI 2019 el valor obtenido es de 1,2%. En base a las recomendaciones se aplicó lo siguiente: - En el marco del desarrollo del balance de energía desde el año 2018 se está separando la demanda de combustible en embarcaciones marítimas y áreas de bandera internacional (bunker) de lo consumido a nivel nacional en el sector transporte. - Se revisó los valores de producción de gas natural utilizados. - Se elaboró un cuadro comparativo del consumo agregado de cada combustible del balance de energía y el utilizado en el marco del RAGEI.

Elemento AC	Hallazgo, si aplica	Recomendación, ajuste	Acciones Tomadas
Datos de actividad	Perú descuenta las proporciones biogénicas de los combustibles fósiles y estima sus emisiones de forma separada. Sin embargo, las emisiones de CH ₄ y N ₂ O de los biocombustibles no se están considerando en los totales (y deberían considerarse, según el capítulo 2 del volumen 2 de IPCC 2006).	Se recomienda incluir las emisiones de metano y N ₂ O en los totales del inventario.	Se consideró la recomendación, se está incluyendo las emisiones de metano y N ₂ O en los totales del inventario.
Datos de actividad	No está claro si se utilizan todo el consumo propio del balance energético. Los consumos están en la pestaña IB 1A1ai y aii-1A1b-1A1ci y cii, filas 770. Y su estimación en la pestaña IP 1A1ai y aii-1A1b-1A1ci y cii, 477-499. Los consumos de las celdas R770 e I770 no se contabilizan.	Se recomienda revisar que todo el consumo propio del balance energético se considera en el inventario.	Se está considerando todos los valores de consumo propio reportados en el balance energético. Sin embargo, se tiene pendiente excluir el consumo propio por el transporte de gas natural, con la finalidad que sea reportado en el RAGEI de Combustión Móvil.
Datos de actividad	Se ha identificado que, en el año 2012, el 1A1ai localiza un tipo de combustible llamado OT y OT1 que no se contabilizan en el inventario.	Se recomienda revisar por qué no se consideran estos combustibles y ajustar el inventario, en su caso.	Se revisó y corrigió dicha inconsistencia.
Datos de actividad	En el INGEI 2010 y 2005 hay una incoherencia en los datos de emisiones para el 1A1ai. Al dividir el biocombustible (DB2) en diésel y biodiesel se extrae la parte correspondiente de BD del DB2: $BD = DB2 * 0.002$, pero no extraen ese dato del diésel, sacan las emisiones del D2 sin haber realizado la correspondiente operación: $D2 = DB2 - (DB2 * 0.002)$, en lugar de eso lo hacen: $D2 = DB2$.	Se recomienda revisar y ajustar el inventario, en su caso.	Se revisó y corrigió dicha inconsistencia.
Datos de actividad	Para la categoría 1A1aii: Generación combinada de calor y energía (CHP) las emisiones dejan de ser calculadas desde el año 2014 hacia atrás. En los cálculos del RAGEI se especifica que esta industria es la central C.T. Paramonga que opera para la empresa Agro Industrial Paramonga S.A.A., para la cual se tiene información en dichos archivos hasta el año 2010, por lo que podrían calcularse las emisiones de esta categoría hasta el año indicado. Sin embargo, esto no se ha realizado.	Se recomienda revisar y ajustar el inventario, en su caso.	Se revisó y calculó dichas emisiones en los años donde se tiene generación combinada de calor y energía según las estadísticas oficiales.
Datos de actividad	En INGEI 2005-Energía (fuentes estacionarias y emisiones fugitivas), pestaña InfoProc 1A1a-b celda D732. Refinerías. No se suman todas las refinerías de la tabla superior. Se dejan la refinería la pampilla SA. Celdas B486:K489.	Se recomienda revisar y ajustar el inventario, en su caso.	Se revisó y corrigió dicha inconsistencia.
Datos de actividad	En el año 2014 se reportan emisiones de CO ₂ en la categoría 1B1a, mientras que en el resto de la serie no se reportan. CO ₂ es una fuente de emisión en minería subterránea. Sin embargo, IPCC 2006 no proporciona factores de emisión.	Considerar el uso de los factores de emisión de CO ₂ para minería subterránea del refinamiento de las guías IPCC (el uso del refinamiento de las guías IPCC no es obligatorio).	Se revisará en el desarrollo del próximo RAGEI.
Datos de actividad	La serie temporal de emisiones de CH ₄ en la categoría 1A2m puede no ser consistente. Hay un salto en el año 2010 que se requiere revisar.	Revisar la serie de emisiones de metano en la categoría 1A2m.	Se revisó y corrigió dicha inconsistencia.
Documentación de los Datos de Actividad	Las fuentes y las suposiciones sobre los datos de actividad se documentaron de forma transparente en las hojas de cálculo.	-	
Factores de emisión	Los factores de emisión utilizados son consistentes con las buenas prácticas IPCC 2006.	-	
Documentación de los Factores de Emisión	Las fuentes y supuestos sobre los FE y otros parámetros se documentaron de forma transparente en las hojas de cálculo.	-	
Documentación de la metodología	La metodología utilizada para todas las categorías se documentó de manera transparente en las hojas de cálculo. Se describieron adecuadamente todos los niveles y variables de los niveles.	-	

Elemento AC	Hallazgo, si aplica	Recomendación, ajuste	Acciones Tomadas
Aplicación de la metodología	La descripción de la metodología y su aplicación fueron coherentes. Hubo una mala interpretación del enfoque de referencia, en el que se consideraron las emisiones fugitivas y las emisiones de CO ₂ de la biomasa en su comparación con el enfoque sectorial.	Se recomienda no incluir las emisiones fugitivas ni las emisiones de CO ₂ de la biomasa en la comparación con el enfoque de referencia.	Se consideró la recomendación, ya no se incluye a las emisiones fugitivas al momento de aplicar el enfoque de referencia.
Comentarios generales	La transparencia de las hojas de cálculo que contienen los datos de actividad, las hipótesis, los factores de emisión, otros parámetros y las emisiones fue muy buena. Sin embargo, la revisión de las diferentes categorías se hace muy difícil por el hecho de tener un archivo Excel por año. Asimismo, el hecho de separar el consumo de combustibles entre combustión estacionaria y móvil dificulta el aseguramiento de la calidad.	Se recomienda mejorar el archivo Excel "Resumen - Energía", incluyendo la variable de actividad, las emisiones y el factor emisión implícito de cada todas las categorías emisoras del sector energía (combustión estacionaria y combustión móvil) para todos los años de la serie, así como las tablas de reporte consolidadas (de todo el sector energía). Esta mejora del archivo debe ser utilizada en las actividades de control y garantía de calidad (QA/QC) del inventario, para asegurar la consistencia de la serie temporal de las emisiones estimadas.	Se mejoró el reporte de resultados, tomando en consideración la tabla de reporte de la CMNUCC.
Ajusto realizado	Los hallazgos descritos más arriba conllevarán ajustes del inventario nacional.	-	
Recomendaciones para la mejora continua	Hay tres hallazgos y recomendaciones de mejora especialmente relevantes: - Incorporar en las actividades de control y garantía de calidad (QA/QC) del inventario una comparación entre los consumos agregados de combustibles del sector energía con los consumos agregados del balance energético - Incorporar en las actividades QA/QC del inventario una comparación entre las emisiones obtenidas utilizando el tier 3 de transporte con el tier 1 - Estimar y reportar las emisiones de metano y N₂O de combustibles biomasa y biocombustibles		Se tomaron en cuenta las recomendaciones de mejora continua, a excepción de la segunda dado que corresponde al RAGEI Combustión móvil.

De manera resumida se presenta a continuación las mejoras realizadas en el RAGEI 2019 y sus respectivos impactos.

Tabla 4. Acciones de mejora implementadas en el RAGEI (2019) en base a la revisión del equipo sectorial

	Descripción de la acción de mejora	Categoría involucrada	Impacto en la estimación de tCO ₂ e de la serie temporal u otros atributos del RAGEI
1	Se ha corregido una subestimación existente en las estimaciones de GEI anteriores. Ahora si se están contabilizando las emisiones de metano y óxido nitroso generados por la quema de biomasa/biocombustibles. Se han actualizado las estimaciones de los años: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 y 2019.	1A1, 1A2 y 1A4	Se mejora la exactitud de los resultados de todas las estimaciones realizadas.
2	Se desagregó los datos de actividad y cálculo de emisiones de GEI por producción combinada de energía y calor para toda la serie temporal.	1A1	Se mejora la exactitud de los resultados de todas las estimaciones realizadas.
3	Se han estimado las emisiones de los gases precursores de GEI para la serie temporal: CO, NO _x , SO _x y COVDM.	Todas	Se conocen los impactos al ambiente de las distintas fuentes del sector energía.
4	Se actualizó el consumo final de energía en los sectores económicos en base a la última información disponible del BNE, el cual mostró ajustes en la serie temporal por mejores metodológicas en la estimación de algunas fuentes de energía y/o datos estadísticos nuevos reportados.	1A2-1A4	Se mejora la exactitud y consistencia de los resultados de todas las estimaciones realizadas.
5	Se cambió de categoría de reporte de las emisiones procedentes por la producción de carbón vegetal para toda la serie temporal, Antes se reportaba en la categoría de "1A1cii", actualmente se reporta en "1B1ci".	1B1ci	Se mejora la exactitud y coherencia de los resultados.

	Descripción de la acción de mejora	Categoría involucrada	Impacto en la estimación de tCO ₂ e de la serie temporal u otros atributos del RAGEI
6	Se cambió el dato de actividad para estimar las emisiones fugitivas por la producción de petróleo. Se venía utilizando los datos estadísticos de producción fiscalizada de petróleo, sin embargo, dichos valores no contabilizan las pérdidas que pueden tenerse en el transporte hasta el punto de medición. En ese sentido, se actualizó toda la serie temporal considerando la producción de campo de petróleo.	1B2a	Se mejora la exactitud y coherencia de los resultados.
7	Se ajustó el procedimiento de cálculo del factor de emisión de CO ₂ de gas natural para los años 2014, 2016, 2018 y 2019.	Todas	Se corrige error y mejora la precisión de las estimaciones anteriores.
8	Se cambió los potenciales de calentamiento global PCG) en la hoja del libro de cálculo, de los reportados por el IPCC AR2 a AR5.	Todas	Se mejora la exactitud de los resultados al utilizar el último reporte disponible del IPCC.
9	Se estandarizó las planillas Excel para toda la serie temporal, aplicando las recomendaciones desarrolladas en el RAGEI 2019.	Todas	Se mejora la coherencia de los resultados para toda la serie temporal.
10	Se realizó una comparación entre el consumo agregado de cada combustible del balance energético, y el consumo agregado a nivel de combustible del RAGEI (incluyendo todas las actividades de consumo de combustibles, incluyendo combustión móvil).	Método de referencia	Se mejora la exactitud de los resultados
11	Se determinó los valores de incertidumbre de los factores de emisión por tipo de combustible a partir de los rangos de los factores de emisión proveídos por las Directrices del IPCC de 2006. Antes se utilizaba los valores agregados por sectores cuyos resultados eran altos.	Análisis de incertidumbre	Se identifica las categorías donde se debe priorizar la mejora de la calidad de los datos.

Fuente: DGEE – MINEM

4. METODOLOGÍA APLICADA

4.1. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI

El RAGEI del Sector Energía - Combustión estacionaria y emisiones fugitivas ha sido elaborado aplicando la metodología que establece las Directrices del IPCC de 2006. Específicamente se utilizó el volumen 2 referido a energía, de este los capítulos 2, 4 y 6 para estimar las emisiones de GEI por combustión estacionaria, emisiones fugitivas y las emisiones según el método de referencia respectivamente.

Adicionalmente, se ha utilizado i) el Compendio de metodologías para la cuantificación de GEI de las industrias del petróleo y el gas natural de 2009, para determinar el factor de emisión nacional de CO₂ del gas natural y ii) la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019, para estimar las emisiones de gases precursores, a partir de los factores por defecto que proporciona este documento.

Figura 1: Documentos de referencia utilizados en la elaboración del RAGEI



Fuente: DGEE – MINEM

Haciendo uso de los documentos anteriormente señalados, que orientan y definen los datos de actividad y factores de emisión más pertinentes, se han estimado las emisiones de GEI y precursores generadas por el sector energía. Las ecuaciones utilizadas para las fuentes de emisión de GEI aquí consideradas se presentan en capítulos posteriores.

En la siguiente tabla se presenta las categorías y gases estimados y reportados en este RAGEI.

Tabla 5. Categoría de emisiones del sector energía y las emisiones estimadas

Codificación	Categorías de fuentes y sumideros	GEI generados – directos e indirectos	GEI estimados en el RAGEI 2019
1	Energía		
1A	Actividades de quema de combustibles		
1A1	Industrias de energía	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM
1A2	Industrias de manufactura y construcción	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM
1A4	Otros sectores	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O SO ₂ , NO _x , CO, COVDM
1B	Emisiones fugitivas provenientes de fabricación de combustibles		
1B1	Combustibles sólidos	CO ₂ , CH ₄	CO ₂ , CH ₄

Codificación			Categorías de fuentes y sumideros	GEI generados – directos e indirectos	GEI estimados en el RAGEI 2019
		1B2a	Petróleo	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
		1B2b	Gas natural	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

Fuente: DGEE - MINEM

Dado que en el Perú no se desarrollan actividades de transporte y almacenamiento de CO₂, esta fuente no se ha considerado en la Tabla 5.

Finalmente, es importante señalar que, si bien se ha tratado de seguir las indicaciones descritas en las directrices del IPCC, algunas fuentes de emisión de GEI han sido calculadas según como se dispone la información a nivel nacional. Dichos ajustes en el proceso de cálculo se referencian de forma apropiada en la planilla de cálculo Excel y se sistematizan en la tabla a continuación.

Tabla 6. Cálculos ajustados del sector energía: Combustión Estacionaria y emisiones Fugitivas

Codificación			Nombre original de la categoría/fuente IPCC	Justificación del cambio
1	A	1 a i	Generación de electricidad	El IPCC incluye las emisiones de todos los usos de combustible para la generación de electricidad de productores como actividad principal, excepto las centrales combinadas de calor y energía. Para fines de monitoreo interno, en Perú, los resultados de esta fuente se dividen en aquellas instituciones que generan para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y para el Sistema Aislado (SA).
1	A	2 m	Industria no especificada	No se dispone a la fecha los consumos de combustible por los distintos tipos de industrias señaladas por el IPCC (hierro, pulpa, alimentos, etc.) a excepción de la industria minera, en ese sentido el RAGEI agrupa a todas estas fuentes en 1A2m, lo cual se mantendrá hasta tener información desagregada en el nivel requerido por la GL2006.
1	A	2 i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Dado que este sector es el único sector industrial que posee información propia del consumo de combustible en los reportes oficiales actuales es que se considera de forma independiente. Cabe precisar que la energía consumida por esta actividad incluye las actividades extractivas.
1	A	4 a	Comercial/Institucional	El presente RAGEI presenta resultados para ambas fuentes y de forma conjunta. Entiéndase al sector institucional como al sector público. Se han actualizado las estimaciones anteriores considerando esta fuente.
1	A	4 c	Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	En el Balance Nacional de Energía (BNE) figura información para los sectores i) Agropecuario y ii) Pesquero (solo incluye el consumo de energía de las actividades de pesca extractiva).

Fuente: DGEE-MINEM

4.2. Metodología para el análisis de incertidumbre

Se ha desarrollado un análisis de la incertidumbre de forma separada para las fuentes de emisión de GEI de la sub – categoría: Actividades de quema de combustible (1A) y la sub – categoría: Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles (1B).

El análisis de la incertidumbre de los resultados de las emisiones de GEI aquí presentado está basado en el nivel 1 del método de propagación del error de las Directrices del IPCC de 2006. Dicho método obtiene la incertidumbre por categorías individuales y además las tendencias entre un año de interés y el año base, que en el presente caso son los años 2019 y 2000 respectivamente. Este método combina las incertidumbres tanto de los niveles de actividad sumados en el total nacional como de los factores de emisión. Los datos de entrada y resultados se presentan en hoja de cálculo del RAGEI 2019.

Dado que a nivel nacional no se cuentan con valores reales sobre la incertidumbre de los niveles de actividad, se han utilizado los valores dentro de los rangos que figuran en las Directrices del IPCC 2006.

Siguiendo la recomendación del IPCC, que señala textualmente que: “El compilador del inventario debe juzgar que tipo de sistema estadístico describe mejor las circunstancias nacionales”, se ha considerado que la información de datos de actividad usados en el RAGEI proviene de sistemas estadísticos menos desarrollados (utilizando un enfoque conservador). Según lo explicado por diversos especialistas del MINEM, en la actualidad no existen sistemas de información robustos y con buen control de la calidad por lo que es un punto que se debe mejorar. Para el 2019 la información utilizada proviene de sondeos que el MINEM ya realiza como parte de sus competencias.

4.2.1. Actividades de quema de combustibles

En el caso de existir rangos de valores de incertidumbre, siguiendo las recomendaciones del IPCC, se elige el valor promedio. En relación con la incertidumbre de los datos de actividad las Directrices del IPCC de 2006, indican los valores presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Nivel de incertidumbre asociado con los datos de actividad de combustión estacionaria

Sector	Sistemas estadísticos bien desarrollados		Sistemas estadísticos menos desarrollados	
	Sondeos	Extrapolación	Sondeos	Extrapolación
Producción de la electricidad y calor como actividad principal	Menos del 1%	3-5%	1-2%	5-10%
Combustión comercial, institucional y residencial	3-5%	5-10%	10-15%	15-25%
Combustión industrial (industrias que consumen mucha energía)	2-3%	3-5%	2-3%	5-10%
Combustión industrial (otros)	3-5%	5-10%	10-15%	15-20%

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 2, Cuadro 2.15

Teniendo en cuenta la tabla anterior, los valores que finalmente fueron usados se reportan en la Tabla 8.

Tabla 8. Niveles de incertidumbre determinados para los datos nacionales de los niveles de actividad

Código	Fuente	Nivel de actividad
1A1ai	Generación de electricidad (SEIN)	1,5%
1A1ai	Generación de electricidad (SA)	1,5%
1A1aii	Generación combinada de calor y energía (CHP)	1,5%
1A1b	Refinación del petróleo	2,5%
1A1cii	Otras industrias de la energía	7,5%
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	12,5%
1A2m	Industria no especificada	12,5%
1A4a	Otros sectores: Comercial/Institucional	12,5%
1A4b	Otros sectores: Residencial	12,5%
1A4c	Otros sectores: Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	12,5%

Fuente: DGEE - MINEM

Respecto a la incertidumbre de los factores de emisión, se han utilizado el valor promedio entre el valor inferior y superior de cada factor de emisión proporcionado por las Directrices del IPCC de 2006. Por lo tanto, la incertidumbre de cada factor de emisión varía dependiendo el GEI, el combustible y la fuente de emisión. Es importante mencionar que, esta es una de las mejoras introducidas en el presente RAGEI, dado que anteriormente se asumían los mismos rangos de incertidumbre para cada GEI, dependiendo del sector, sin tener en cuenta el tipo de combustible.

4.2.2. Emisiones fugitivas por la fabricación de combustibles

Los valores de incertidumbre utilizados para los datos de actividad son los recomendados por las Directrices del IPCC de 2006 y se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9. Incertidumbre de los datos de actividad para la categoría 1B

Subcategoría	Nivel de incertidumbre
1B1. Combustibles sólidos	10%
1B2. Petróleo y Gas Natural	25%

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.16 y 4.73

Respecto a la incertidumbre de los factores de emisión, se han utilizado el valor promedio entre el valor inferior y superior de cada factor de emisión reportado por las Directrices del IPCC de 2006. Los valores empleados se resumen en la Tabla a continuación.

Tabla 10. Incertidumbre de los factores de emisión para la categoría 1B

Subcategoría	Combustible	GEI	Nivel de incertidumbre
1B1ai1 Minería	Combustibles sólidos	CH ₄	42%
1B1ai2 Emisiones de gas de carbono, posteriores a la minería	Combustibles sólidos	CH ₄	62%
1B2biii3 Procesamiento	Gas Natural	CO ₂	69%
1B2biii4 Transporte y almacenamiento	Gas Natural	CO ₂	132%
1B2biii4 Transporte y almacenamiento	Gas Natural	CH ₄	137%
1B2biii2 Producción, B2biii3 Procesamiento	Gas Natural	CO ₂ CH ₄	145%
1B3 Producción de carbón vegetal	Biomasa	CH ₄	95%
1B2biii5 Distribución	Gas Natural	CO ₂ , CH ₄	260%
1B2ai Venteo y 1B2aii Quema en antorcha, 1B2aiii2 Producción y refinación, 1B2bi Venteo, 1B2bii Quema en antorcha, 1B2ai Venteo y 1B2aii Quema en antorcha, 1B2aiii2 Producción y refinación, 1B2bi Venteo, 1B2bii Quema en antorcha, 1B2ai Venteo y 1B2aii Quema en antorcha, 1B2bii Quema en antorcha, 1B2biii3 Procesamiento	Gas Natural, Petróleo	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	406%

Fuente: Estimado a partir de rangos de factores de emisión de las Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Cuadro 4.2.5

4.3. Metodología para garantizar la serie temporal

Durante el proceso de elaboración del RAGEI del año 2019 se revisaron las planillas de cálculo desarrollados para las estimaciones anteriores. En base a las mejoras realizadas en la presente edición se actualizaron todas las estimaciones oficiales hasta la fecha preparados. Los cambios realizados en este reporte fueron:

- Se corrigió la subestimación existente en las estimaciones de GEI anteriores, considerando ahora las emisiones de metano y óxido nitroso generados por la quema de biomasa/bicombustibles.
- Se desagregó los datos de actividad y cálculo de emisiones de GEI por producción combinada de energía y calor.
- Se han estimado las emisiones de los gases precursores de GEI: CO, NO_x, SO_x y COVDM.
- Se actualizaron el consumo final de energía en los sectores económicos en base a la última información disponible del BNE.
- Se cambió de categoría de reporte de las emisiones procedentes por la producción de carbón vegetal para toda la serie temporal (se reportaba en la categoría de "1A1cii", actualmente se reporta en "1B1ci").

- Se cambió el dato de actividad para estimar las emisiones fugitivas por la producción de petróleo, considerando la información de producción de campo.
- Se ajustó el procedimiento de cálculo del factor de emisión de CO₂ de gas natural.
- Se cambió los potenciales de calentamiento global (PCG) en la hoja del libro de cálculo, de los reportados por el IPCC AR2 a AR5.
- Se determinó los valores de incertidumbre de los factores de emisión por tipo de combustible a partir de los rangos de los factores de emisión proveídos por las Directrices del IPCC de 2006. Antes se utilizaba los valores agregados por sectores cuyos resultados eran altos.

Todas las mejoras han sido incorporadas en los cálculos de los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y 2018 existiendo data para poder procesarla. No se han aplicado métodos de extrapolación, interpolación u otros en el proceso de actualización de la serie temporal.

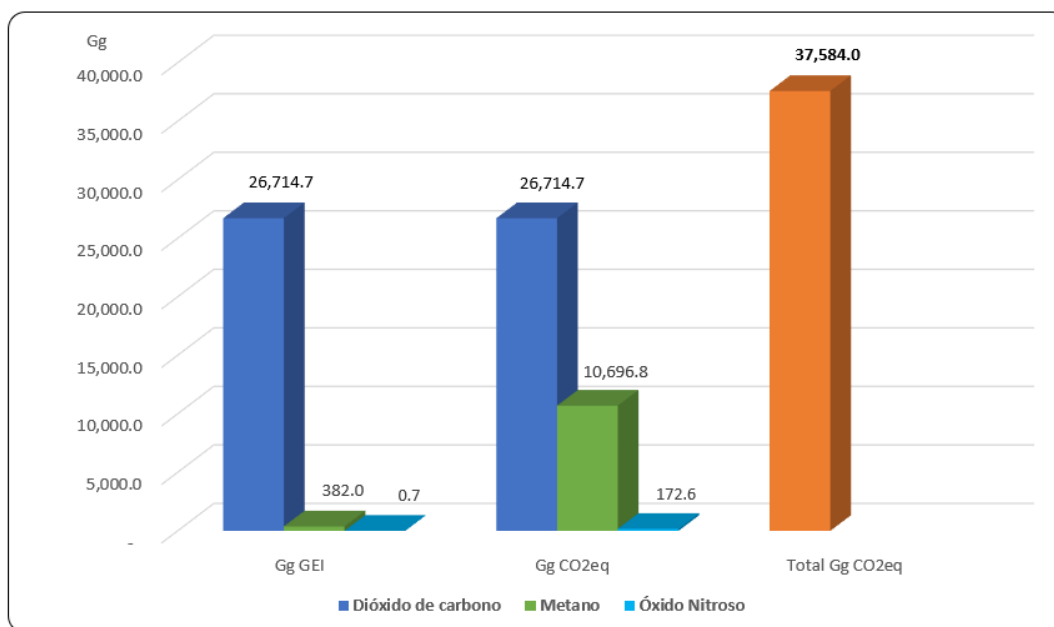
5. RESULTADO SECTORIAL

En esta sección se presentan los resultados generales del total de emisiones e incertidumbre estimadas para el año 2019 para el sector energía: Combustión estacionaria y emisiones fugitivas. También se incluye los resultados de la tendencia de emisiones a partir de la actualización de los INGEI que han sido estimados y reportados en los anteriores RAGEI: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016 y, se añade a la serie temporal los resultados para los años 2018 y 2019. Más adelante, en la sección 6 de este RAGEI se describen los resultados detallados para cada una de las subcategorías y fuentes de emisión contempladas dentro del sector.

5.1. Análisis de resultados

El sector energía (excluido el transporte) para el año 2019 emitió un total de **37,584.04 GgCO₂eq.** De este total, el 71.08% corresponde a emisiones de CO₂, 28.46% son emisiones de CH₄ y 0.46% de N₂O.

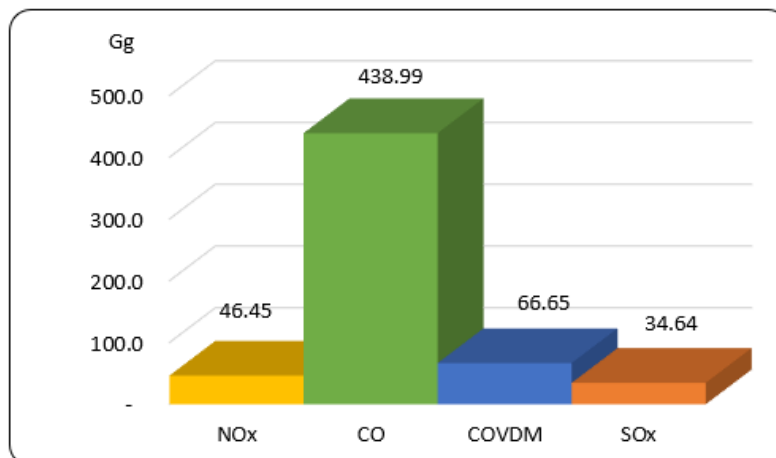
Gráfico 15: Emisiones nacionales de GEI del sector energía – combustión estacionaria - 2019



Fuente: DGEE - MINEM

Además, para la categoría 1A: Actividades de quema de combustibles, se estimaron las emisiones de gases precursores: monóxido de carbono – CO, óxidos de nitrógeno – NO_x, compuestos orgánicos volátiles distintos al metano – COVDM, y dióxido de azufre – SO₂; teniéndose como resultados que, para 2019, se emitieron **438.99 Gg de CO; 46.45 Gg de NO_x, 66.65 Gg de COVDM y 34.64 Gg de SO_x.** En el anexo 3 se detalla la metodología empleada para estimar las emisiones de los precursores.

Gráfico 16: Emisiones nacionales de gases precursores del sector energía (categoría 1A) – 2019



Fuente: DGEE - MINEM

En la Tabla 11 se reportan las emisiones GEI y de precursores, de forma desagregada por subcategoría y por fuente de emisión. En la sección 6 se detalla cada uno de los resultados de las emisiones GEI.

Tabla 11. Emisiones de GEI y precursores, del sector energía (excluido transporte) – 2019

Categorías		GEI en Gg de CO ₂ eq				Precursores en Gg de cada GEI			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total, GEI	NOx	CO	COVDM	SOx
1	Energía	26,714.70	10,696.77	172.57	37,584.04	46.45	438.99	66.65	34.64
1A	Actividades de quema de combustibles	26,181.45	820.13	167.27	27,168.84	46.44	397.49	66.65	34.64
1A1	Industrias de energía	12,693.49	15.80	18.67	12,727.95	5.42	5.58	0.25	3.74
1A1a	Producción de electricidad y calor como actividad principal	8,769.28	13.63	16.25	8,799.16	3.98	4.23	0.20	2.42
1A1ai	Generación de electricidad - SEIN	2,258.95	1.16	1.32	2,261.43	0.77	0.78	0.03	0.68
1A1ai	Generación de electricidad - SA	278.39	0.31	0.58	279.27	0.48	0.06	0.01	1.58
1A1ai	Generación combinada de calor y energía (CHP)	6,231.94	12.16	14.35	6,258.45	2.72	3.39	0.17	0.16
1A1b	Refinación de petróleo	1,973.19	0.98	0.93	1,975.11	0.53	0.70	0.02	0.01
1A1c	Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	1,951.02	1.18	1.49	1,953.69	0.92	0.65	0.03	1.31
1A1ci	Fabricación de Combustibles sólidos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A1ci	Otras industrias de la energía	1,951.02	1.18	1.49	1,953.69	0.92	0.65	0.03	1.31
1A2	Industrias manufacturas y de la construcción	9,155.88	45.29	52.48	9,253.65	32.23	49.25	14.60	27.76
1A2a	Hierro y acero	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2b	Metales no ferrosos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE

Categorías		GEI en Gg de CO ₂ eq				Precursores en Gg de cada GEI			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total, GEI	NO _x	CO	COVDM	SO _x
1A2c	Productos químicos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebida y tabaco	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2f	Minerales no metálicos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2g	Equipos de transporte	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2h	Maquinaria	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	1,489.46	1.62	2.94	1,494.02	9.48	1.26	0.50	0.86
1A2j	Madera y productos de madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2k	Construcción	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2l	Textiles y cuero	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A2m	Industria no especificada	7,666.42	43.67	49.54	7,759.62	22.75	47.99	14.09	26.91
1A3	Transporte	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1A4	Otros sectores	4,332.08	759.04	96.12	5,187.24	8.79	342.66	51.80	3.13
1A4a	Comercial/Institucional	1,249.25	43.30	6.06	1,298.60	1.21	0.36	0.11	0.35
1A4b	Residencial	2,766.90	713.70	89.28	3,569.87	5.77	341.91	51.09	2.54
1A4c	Agricultura	151.64	1.29	0.41	153.34	1.10	0.19	0.55	0.04
1A4c	Pesca	164.31	0.75	0.38	165.43	0.72	0.21	0.05	0.20
1A5	No especificado	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	533.25	9,876.64	5.31	10,415.20	0.01	41.49		
1B1	Combustibles sólidos		282.12	4.00	286.12	0.01	41.49		
1B1a	Minería y manejo del carbón		69.31		69.31				
1B1ai	Minas subterráneas		69.31		69.31				
1B1ai 1	Minería		60.85		60.85				
1B1ai 2	Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería		8.45		8.45				
1B1ai 3	Minas subterráneas abandonadas	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B1ai 4	Quema en antorcha de metano drenado o en conversión de metano en CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Categorías		GEI en Gg de CO ₂ eq				Precursores en Gg de cada GEI			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total, GEI	NO _x	CO	COVDM	SO _x
1B1ai i	Minas de superficie	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1B1c	Transformación de combustibles sólidos		212.82	4.00	216.81	0.01	41.49		
1B1ci	Producción de carbón vegetal y biocarbón		212.82	4.00	216.81	0.01	41.49		
1B2	Petróleo y gas natural	533.25	9,594.52	1.31	10,129.08				
1B2a	Petróleo	267.88	1,927.21	0.50	2,195.59				
1B2ai	Venteo	2.91	26.82		29.73				
1B2ai i	Quema en antorcha	256.93	127.16	0.50	384.58				
1B2ai ii	Todos los demás	8.05	1,773.23		1,781.28				
1B2ai ii1	Exploración	NE	NE	NE	NE				
1B2ai ii2	Producción y refinación	8.05	1,773.23		1,781.28				
1B2b	Gas natural	265.37	7,667.31	0.81	7,933.49				
1B2bi	Venteo	0.10	245.20		245.30				
1B2bi i	Quema en antorcha	221.27	37.17	0.67	259.12				
1B2bi ii	Todos los demás	44.01	7,384.93	0.14	7,429.07				
1B2bi ii1	Exploración	NE	NE	NE	NE				
1B2bi ii2	Producción	1.85	6,400.18		6,402.02				
1B2bi ii3	Procesamiento	41.48	382.97	0.14	424.58				
1B2bi ii4	Transmisión y almacenamiento	0.02	253.62		253.64				
1B2bi ii5	Distribución	0.66	348.17		348.83				
1C	Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: DGEE – MINEM

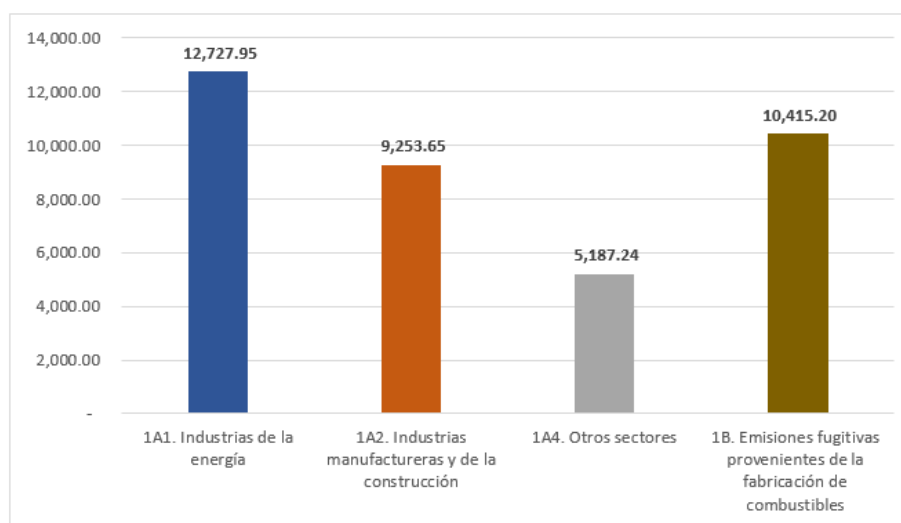
De los resultados del presente RAGEI es necesario precisar lo siguiente:

- En la actualidad no se dispone de información desagregada sobre uso de combustibles en las industrias de hierro y acero; metales no ferrosos; productos químicos; pulpa, papel e imprenta; procesamiento de alimentos, bebida y tabaco; minerales no metálicos; equipos de transporte; maquinaria; madera y productos de madera; construcción y textiles y cuero. Por lo tanto, las emisiones GEI de estas industrias se estiman de forma agregada y se reportan bajo la categoría: Industria no especificada (1A2m), y por eso llevan la codificación IE: Incluidas en otro lugar.
- Las emisiones de GEI derivadas del sector transporte, no se consideran en este reporte dado que sus estimaciones le competen al MTC según lo establecido en el INFOCARBONO y por esto tienen la codificación IE: Incluidas en otro lugar. Los resultados de esta categoría podrán ser consultados en el respectivo informe del RAGEI del sector transporte.

- c) La minería para extracción del carbón que se desarrolla en el Perú se asume que es subterránea, en ese sentido no se generan emisiones por la minería de superficie y llevan la codificación NO: No ocurre.
- d) Algunas fuentes dentro de la categoría emisiones fugitivas carecen de información para estimar las respectivas emisiones GEI y por esto llevan la codificación NE: No estimada.
- e) En el Perú no se realizan actividades de almacenamiento y transporte de dióxido de carbono por lo que esta fuente lleva la codificación NO: No Ocurre.

La categoría que genera mayores emisiones de GEI dentro de las reportadas en este RAGEI, es la de industrias de la energía (1A1), la cual emite 12,728 Gg CO₂eq y representa el 33.87%. En segundo lugar, se encuentran las emisiones fugitivas procedentes de la fabricación de combustibles, las cuales corresponden al 27.71% del total de emisiones reportadas (10,415 Gg CO₂eq).

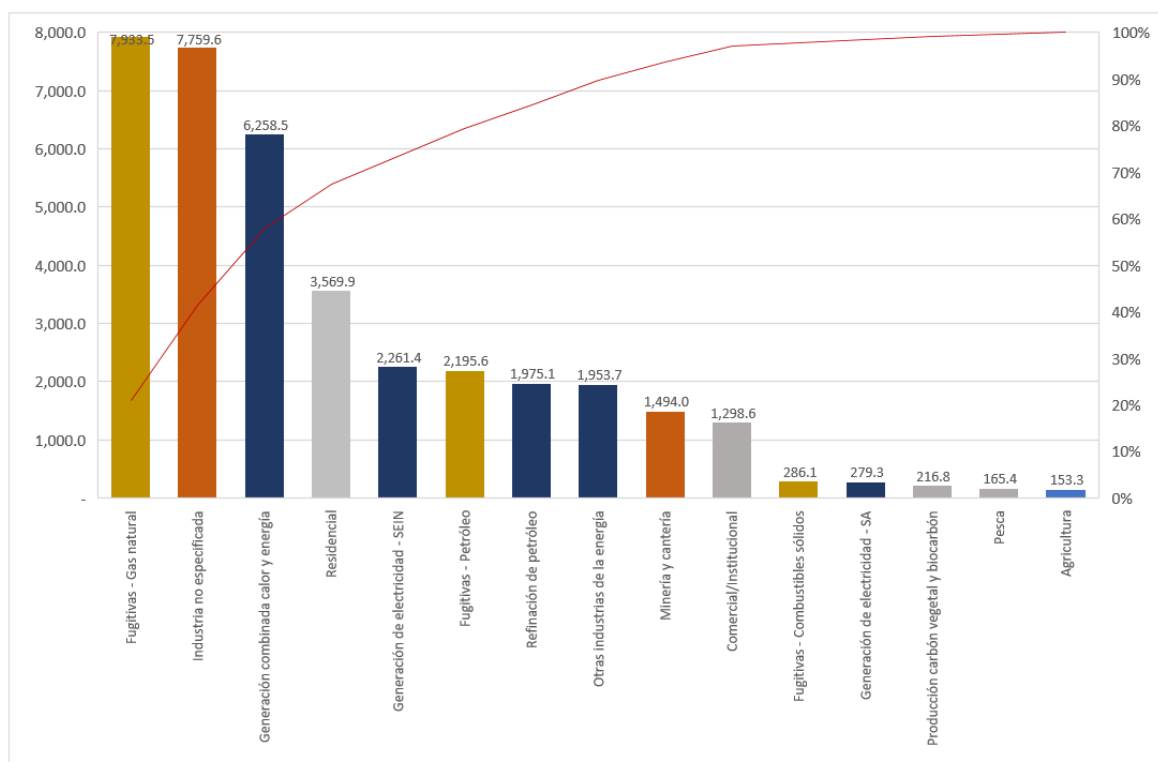
Gráfico 17: Emisiones de GEI (Gg CO₂eq) del sector energía por categoría – 2019



Fuente: DGEE - MINEM

Un análisis según las principales fuentes de emisión de GEI se puede apreciar en el Gráfico 18

Gráfico 18: Histograma: Emisiones de GEI (Gg CO2eq) del sector energía según fuente de emisión-2019



Fuente: DGEE - MINEM

Como se observa en el histograma, tan solo 3 fuentes de emisión agregan el 58.41% de las emisiones GEI generadas en el país por combustión estacionaria y emisiones fugitivas. Estas son: Emisiones fugitivas generadas en las actividades de la cadena de Gas Natural (con un aporte del 21.11%), emisiones por combustión en el sector industrial (clasificadas dentro de la categoría denominada “Industria no especificada”, con un aporte del 20.65%) y emisiones por combustión en las actividades de producción combinada de calor y energía (aporte del 16.65%). Sumadas a estas, las fuentes de emisión de la combustión en el sector residencial y en la generación de electricidad del SEIN, las emisiones fugitivas en actividades de petróleo y refinación de petróleo, agregan 26.61% más de las emisiones, siendo estas 7 fuentes de emisión las que representan el 85.02% de las emisiones contempladas en el presente RAGEI.

5.2. Resultados incertidumbre

5.2.1. Quema de combustibles (1A)

La incertidumbre combinada de los resultados de las emisiones GEI, para esta categoría, resultó en 4.28% mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia arrojó un 5.94%. Los bajos valores de incertidumbre estimados indican que los resultados de emisiones de GEI por quema de combustibles (1A) no se encuentran muy alejados de la realidad (valores con alta exactitud).

En la tabla a continuación se presentan los resultados de la estimación de la incertidumbre para esta categoría, desagregados por tipo de combustible.

Tabla 12. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones por actividades de quema de combustibles del RAGEI (Categoría 1A)

Combustible	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
		Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E2 + F2}$	$(G \cdot D) / \Sigma D$	$\sqrt{K2 + L2}$
		%	%	%	%	%
Gas Licuado de petróleo	CO ₂	8.65%	2.19%	8.9%	1.23%	2.92%
Gasolina para motores	CO ₂	10.89%	3.46%	11.4%	0.13%	0.29%
Diésel	CO ₂	6.18%	0.74%	6.2%	0.60%	1.45%
Petróleo Industrial	CO ₂	3.84%	1.15%	4.0%	0.10%	0.23%
Coque	CO ₂	12.50%	7.24%	14.4%	0.08%	0.17%
Carbón mineral	CO ₂	12.33%	3.21%	12.7%	1.25%	2.95%
Gas Natural	CO ₂	2.71%	2.07%	3.4%	2.01%	3.90%
Gas de refinería	CO ₂	2.50%	18.06%	18.2%	0.0004%	0.005%
Gas Licuado de petróleo	CH ₄	10.55%	113.98%	114.5%	0.03%	0.01%
Gasolina para motores	CH ₄	8.78%	104.21%	104.6%	0.00%	0.00%
Diésel	CH ₄	6.14%	68.69%	69.0%	0.01%	0.00%
Petróleo Industrial	CH ₄	3.80%	79.66%	79.8%	0.00%	0.00%
Coque	CH ₄	12.50%	135.00%	135.6%	0.00%	0.00%
Carbón mineral	CH ₄	12.43%	134.26%	134.8%	0.04%	0.01%
Gas Natural	CH ₄	2.95%	67.66%	67.7%	0.02%	0.00%
Gas de refinería	CH ₄	2.50%	135.00%	135.0%	0.00%	0.00%
Madera/Desechos de madera	CH ₄	11.72%	125.06%	125.6%	3.24%	0.74%
Otra biomasa sólida primaria	CH ₄	8.08%	90.70%	91.1%	0.21%	0.05%
Carbón vegetal	CH ₄	8.00%	84.77%	85.1%	0.08%	0.02%
Gas de Vertedero	CH ₄	1.50%	135.00%	135.0%	0.00%	0.00%
Biogasolina	CH ₄	8.78%	104.21%	104.6%	0.00%	0.00%
Biodiésel	CH ₄	6.24%	69.69%	70.0%	0.00%	0.00%
Gas Licuado de petróleo	N ₂ O	8.65%	93.43%	93.8%	0.01%	0.00%
Gasolina para motores	N ₂ O	10.89%	130.64%	131.1%	0.00%	0.00%
Diésel	N ₂ O	6.18%	74.50%	74.8%	0.02%	0.00%
Petróleo Industrial	N ₂ O	3.84%	103.45%	103.5%	0.01%	0.00%
Coque	N ₂ O	12.50%	150.00%	150.5%	0.00%	0.00%
Carbón mineral	N ₂ O	12.33%	147.98%	148.5%	0.06%	0.01%
Gas Natural	N ₂ O	2.71%	7.83%	8.3%	0.00%	0.00%
Gas de refinería	N ₂ O	2.50%	13.50%	13.7%	0.00%	0.00%
Madera/Desechos de madera	N ₂ O	10.54%	142.30%	142.7%	0.52%	0.09%
Otra biomasa sólida primaria	N ₂ O	7.31%	111.13%	111.4%	0.15%	0.02%
Carbón vegetal	N ₂ O	8.17%	104.54%	104.9%	0.01%	0.00%
Gas de Vertedero	N ₂ O	1.50%	135.00%	135.0%	0.00%	0.00%
Biogasolina	N ₂ O	10.89%	130.64%	131.1%	0.00%	0.00%
Biodiésel	N ₂ O	6.34%	76.27%	76.5%	0.00%	0.00%

Total	CO ₂ eq		4.28%	5.94%
-------	--------------------	--	-------	-------

Fuente: DGEE – MINEM

5.2.2. Emisiones fugitivas provenientes de fabricación de combustibles (1B)

Para esta categoría, la incertidumbre combinada resultó en 115.79% mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia se estimó en un 41.89%. Esta alta incertidumbre se deriva principalmente de la incertidumbre de los factores de emisión empleados para el cálculo, los cuales en su mayoría presentan incertidumbres por encima del 150%.

Tabla 13. Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones fugitivas por fabricación de combustibles del RAGEI. (Categoría 1B)

Combustible	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones nacionales en el año t	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales según fuente de emisión y GEI
		Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{(E2 + F2)}$	$(G \cdot D) / \Sigma D$	$\sqrt{(K2 + L2)}$
		%	%	%	%	%
Petróleo	CO ₂	24.26%	394.24%	395.0%	10.16%	1.64%
Gas natural	CO ₂	21.21%	338.91%	339.6%	8.65%	1.41%
Petróleo	CH ₄	23.09%	375.20%	375.91%	69.56%	11.21%
Gas natural	CH ₄	20.97%	122.62%	124.40%	91.58%	40.28%
Combustibles sólidos	CH ₄	8.86%	37.36%	38.40%	0.26%	0.15%
Biomasa	CH ₄	25.00%	94.50%	97.75%	2.00%	1.33%
Petróleo	N ₂ O	25.00%	406.25%	407.02%	0.02%	0.003%
Gas natural	N ₂ O	21.24%	348.78%	349.43%	0.03%	0.00%
Biomasa	N ₂ O	25.00%	57.00%	62.24%	0.02%	0.03%
Total	CO₂eq				115.8%	41.9%

Fuente: DGEE – MINEM

5.3. Resultados serie temporal

5.3.1. Actualización de emisiones de la serie temporal

En el segundo RAGEI, se reportaron las emisiones para los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016. En el presente RAGEI, se actualizaron los resultados de las emisiones para esos 6 años, debido al cambio en los valores de potenciales de calentamiento global, actualización de datos de actividad y mejoras metodológicas implementadas en los cálculos (en la sección 4.3 de este documento se detallan las mejoras realizadas). A continuación, se presentan por categoría principal, los resultados de las emisiones GEI de los 6 años reportados anteriormente, en versión original (según resultados reportados del RAGEI 2016) y actualizada (estimaciones realizadas para este tercer RAGEI).

Tabla 14. Serie temporal de emisiones (Gg CO₂eq) originales y actualizadas: 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016

Categorías de fuentes y sumideros	2000		2005		2010		2012		2014		2016	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Industrias de energía	3,930	4,321	5,201	6,806	13,103	12,600	13,521	13,228	13,951	14,380	15,946	15,550

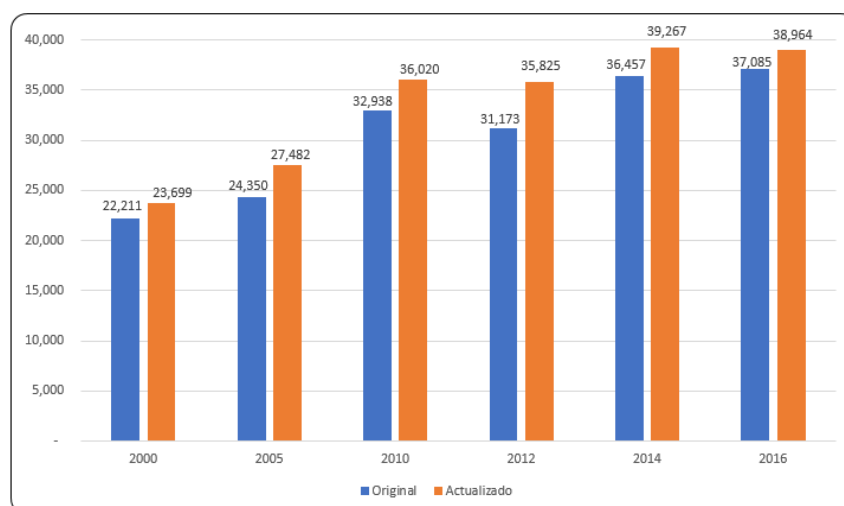
Categorías de fuentes y sumideros	2000		2005		2010		2012		2014		2016	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Industrias de manufactura y construcción	7,309	8,375	9,013	8,282	7,757	7,618	6,081	8,217	9,399	8,732	8,436	8,821
Otros sectores	5,553	5,267	4,202	4,400	3,661	4,593	4,374	4,536	4,651	4,758	5,444	4,925
Fugitivas Combustibles sólidos	5	98	17	111	34	128	64	165	65	159	74	170
Fugitivas Petróleo y gas natural	5,413	5,638	5,917	7,882	8,383	11,082	7,134	9,679	8,391	11,237	7,184	9,498
Total	22,211	23,699	24,350	27,482	32,938	36,020	31,173	35,825	36,457	39,267	37,085	38,964
Diferencia	6%		11%		9%		13%		7%		5%	

O: original, A: actualizado

Fuente: DGEE - MINEM

Cono se observa, las mejoras realizadas conllevaron a un incremento en las emisiones GEI reportadas previamente.

Gráfico 19. Actualización de las emisiones de GEI (Gg CO₂eq) reportados en los anteriores RAGEI del Sector Energía estacionaria y emisiones Fugitivas.



Fuente: DGEE – MINEM

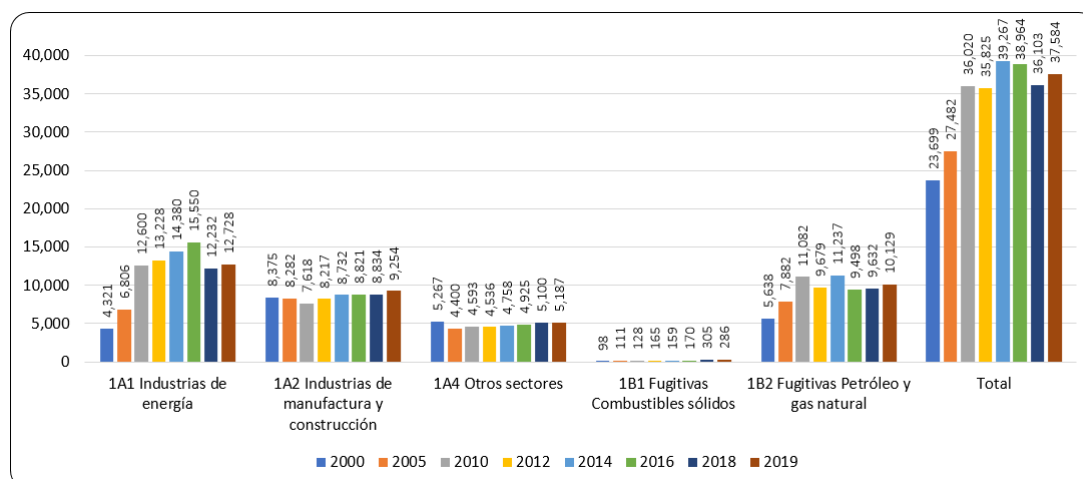
5.3.2. Tendencia de emisiones.

Para este RAGEI, adicional a la actualización de las emisiones presentadas en los anteriores RAGEI, se estimaron las emisiones para los años 2018 y 2019. De esta forma, se cuenta con una serie temporal de emisiones estimada con una metodología comparable y que contempla datos para 8 años dentro del periodo de tiempo comprendido entre el año 2000 y 2019. En el Gráfico 20 a continuación se presenta la tendencia de emisiones totales y por categoría principal.

Respecto a la evolución de las emisiones de GEI, se aprecia que las emisiones totales abarcadas por el presente RAGEI, presentaron una tendencia creciente hasta alcanzar un pico en 2014, y posteriormente comenzar a decrecer, con una caída importante en el 2018. Este comportamiento se debe principalmente a que, en el 2018 y 2019 se redujeron las emisiones generadas por las industrias de la energía, principalmente por la disminución del consumo de combustibles en la generación de energía, los cuales fueron desplazados por el uso de energías renovables e hidroeléctricas. Es así como en 2016 la generación en termoeléctricas a partir de

gas natural y carbón fue del 52%, mientras que en 2018 y 2019 fue del 38 y 39% respectivamente.

Gráfico 20. Emisiones de GEI (Gg CO₂eq) históricas del sector energía estacionaria y emisiones fugitivas, totales y por categorías principales.



* F = Emisiones Fugitivas

Fuente: DGEE – MINEM

6. RESULTADOS POR CATEGORÍA

En esta sección se presenta información y el análisis detallado por categoría y fuente dividiéndose en las siguientes secciones:

- i. Actividades de quema del combustible (1A)
- ii. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles (1B)

6.1. Actividades de quema del combustible (1A)

Esta categoría agrupa a todas las fuentes que generan emisiones de GEI producto de la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para calentar y proporcionar calor a un proceso como calor o como trabajo mecánico, o bien para aplicaciones fuera del aparato. El sector correspondiente al presente RAGEI, sector energía - combustión estacionaria y emisiones fugitivas, se clasifica, según el IPCC, en las siguientes subcategorías y fuentes de emisión:

- 1A1: Industrias de la energía
 - 1A1a: Producción de electricidad y calor como actividad principal
 - 1A1b: Refinación del petróleo
 - 1A1c: Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas
- 1A2: Industrias de manufactura y construcción
- 1A4: Otros sectores
 - 1A4a: Comercial/Institucional
 - 1A4b: Residencial
 - 1A4c: Agricultura y pesca

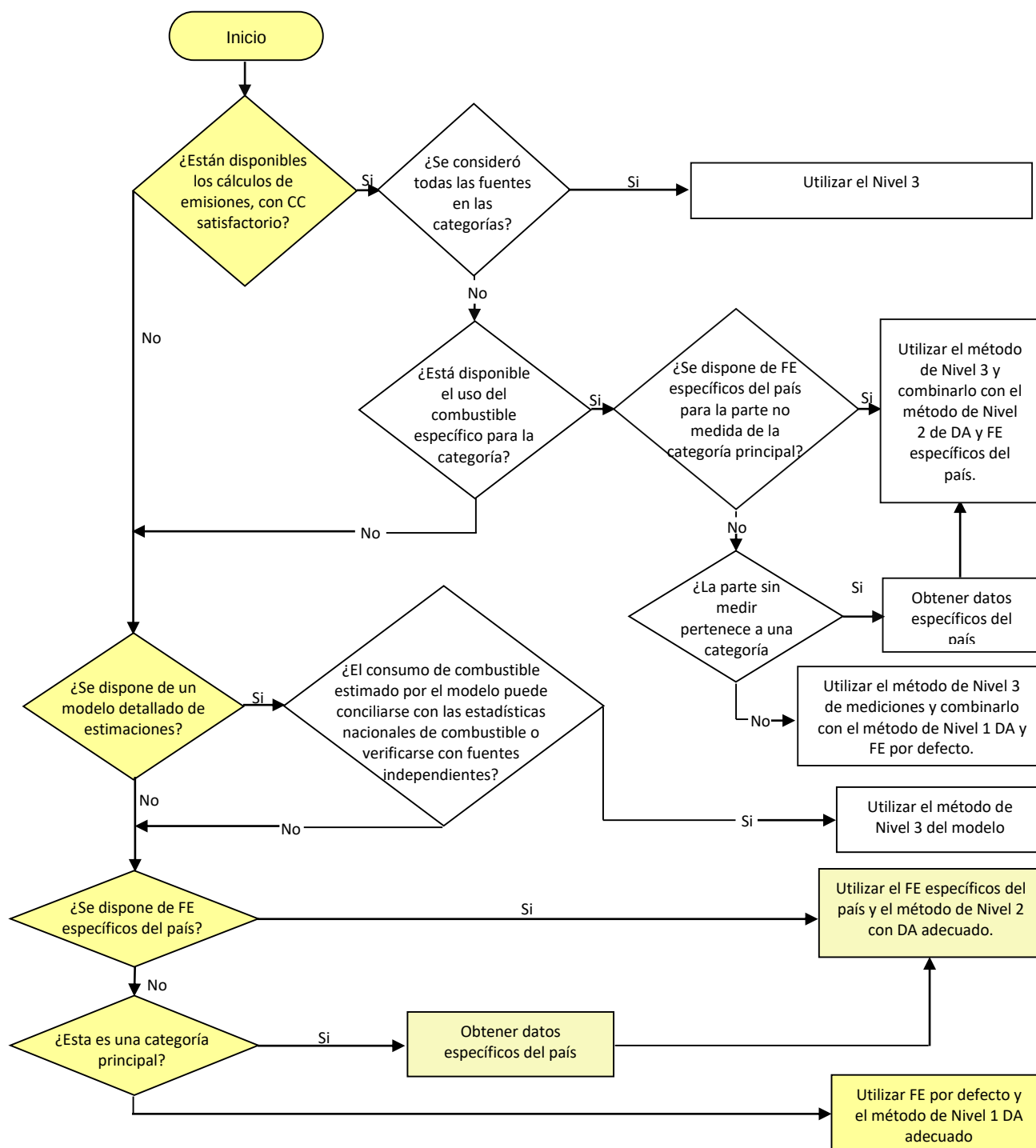
6.1.1. Método de cálculo

El método seguido para estimar las emisiones de GEI de todas las fuentes de esta categoría, con excepción de las emisiones de CO₂ generadas por la quema de gas natural, es el nivel 1 de cálculo presentado por las Directrices del IPCC de 2006, es decir el nivel más básico. La elección de dicho nivel se basa en la utilización de los árboles de decisión que sugiere el IPCC (Ver gráfico 21).

La única fuente que presenta un nivel de cálculo superior (nivel 2) es la quema de gas natural. Para este combustible se ha logrado estimar el factor de emisión nacional en base a información detallada proveída por la empresa Pluspetrol Perú Corporation y al uso de metodologías de cálculo propuestas en el documento: *“Compendio de metodologías para la cuantificación de gases de efecto invernadero de las industrias del petróleo y gas natural”* del Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés). El método de estimación seguido se presenta al finalizar este documento como anexo 4.

En el Gráfico 21, se presenta el árbol de decisión para todas las fuentes de emisión de GEI en esta categoría. Se ha resaltado de amarillo la secuencia seguida para la determinación del método.

Gráfico 21. Árbol de decisión general para estimar las emisiones de la combustión estacionaria



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 2, Pág. 2.15

Para la estimación del CO₂, el árbol de decisiones indica aplicar el Nivel 2, dado que las emisiones de CO₂ de las subcategorías Industria de la energía, industrias manufactureras y de construcción y otros sectores fueron identificadas como categoría principal para todos los tipos de combustible empleados en dichas subcategorías (para industrias de la energía solo combustibles gaseosos). No obstante, debido a que no contamos con factores de emisión de CO₂ específicos del país de los combustibles, se aplica el método de Nivel 1. En el caso del gas natural se aplica el método de Nivel 2.

Para el CH₄ y N₂O, para todos los combustibles, el árbol de decisiones sugiere el uso de FE por defecto y el método de Nivel 1 AD.

En la Tabla 15 se resume, para cada subcategoría y fuente de emisión estimada, los GEI calculados y los niveles metodológicos empleados en cada caso, según las decisiones tomadas con las sugerencias del árbol de decisión.

Tabla 15. Método de cálculo empleado para cada GEI y fuente de emisión en la categoría 1A.

Subcategoría	Categorías de fuentes	GEI	Combustible	Nivel metodológico
1A1. Industrias de la energía	1A1a. Producción de electricidad y calor como actividad principal	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
	1A1b. Refinación de petróleo	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
	1A1cii. Otras industrias de la energía	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
1A2. Industrias manufactureras y de la construcción	1A2i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
	1A2m. Industria no especificada	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
1A4. Otros sectores	1A4a. Comercial/Institucional	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
	1A4b. Residencial	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1
	1A4c. Agricultura y pesca	CO ₂	Gas natural	Nivel 2
		CH ₄ , N ₂ O	Gas natural y demás combustibles líquidos, sólidos y gaseosos	Nivel 1

Fuente: DGEE – MINEM

6.1.2. Ecuaciones utilizadas para la categoría 1A

Para el cálculo de las emisiones GEI de esta categoría se emplea la ecuación general sugerida por el IPCC (Ecuación 1). Esta ecuación se base en 2 tipos de variables, los niveles de actividad (datos asociados a una actividad específica) y los factores de emisión que convierten los niveles de actividad en emisiones de GEI. Para todas las fuentes de emisión de la categoría 1A, el dato de actividad corresponde al consumo de los diferentes tipos de combustibles.

Ecuación 1: Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión estacionaria

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI combustible}} = \text{Consumo combustible}_{\text{combustible}} \bullet \text{Factor de emisión}_{\text{GEI combustible}}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 2, Pág. 2.11

Dónde:

$\text{Emisiones}_{\text{GEI combustible}}$ = emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible

Consumo combustible_{combustible} = cantidad de combustible quemado (TJ)
Factor de emisión GEI_{combustible} = incluye el factor de oxidación de carbono, se asume que es 1

Ecuación 2: Total de emisiones por gas de efecto invernadero

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = \sum_{\text{combustibles}} \text{Emisiones}_{\text{GEI.combustible}}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 2, Pág. 2.12

6.1.3. Datos de actividad

En la Tabla 16, se describen las fuentes de emisión abarcadas en esta categoría, los datos de actividad requeridos para cada una, las fuentes de información de los datos nacionales, los GEI estimados, algunos comentarios particulares y al final, el uso que se le da a la información para el cálculo.

Tabla 16. Datos de actividad y fuentes de información de la categoría 1A.

Fuente de emisión	Descripción de la fuente de emisión	Dato de actividad IPCC	Dato nacional	Unidad de dato nacional	Fuente de información	Comentarios
1A1ai. Generación de electricidad	Emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles de todas las instituciones que producen energía eléctrica como actividad principal, excluyéndose las centrales que combinan calor y energía para su generación.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo mensual y tipo de combustible por unidad de generación 2019 -Empresas que generan i) para el mercado eléctrico y, ii) para su propio uso.	Gas Natural (m³), Biogás (m³), Bagazo (t), Carbón (t), Diesel 2 (gal), Petróleo industrial (gal), Biodiesel (gal)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Electricidad Anuario Estadístico de Electricidad 2019. Anexo 9: Consumo mensual y tipo de combustible por unidad de generación 2019 Recuperado de: http://www.minem.gob.pe/estadistica.php?idSector=6&idEstadistica=13396 Fecha acceso: 16/03/2022	Para efectos del cálculo y reporte, la información de generación de electricidad se clasifica en dos: Generación de electricidad para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y Generación de Electricidad de los Sistemas Aislados (SA). Esta clasificación se realiza en base a la importancia de estos dos tipos de sistemas a nivel nacional. En estas categorías no se consideran la autoproducción de empresas fuera del sistema eléctrico (SEIN o SA).
1A1aii Generación combinada de calor y energía (CHP)	Emisiones generadas por la producción de calor y energía eléctrica (combinada) de los productores como actividad principal.	Cantidad de combustible quemado (TJ)			En el Anuario Estadístico se presenta el consumo diferenciado de combustibles, tanto para el mercado eléctrico como para el auto consumo de distintos tipos de industrias y datos del sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) y del sistema aislado (SA).	Para desagregar los datos de generación combinada de calor y energía, se realiza una identificación y clasificación de las empresas que llevan a cabo dicha actividad y los consumos de combustible asociadas a estas, se clasifican, procesan, calculan y reportan por separado dentro de la categoría 1A1aii.
1A1b Refinación de petróleo	Emisiones de GEI que se generan por la quema de combustibles durante las operaciones propias en las refinерías, estas actividades comprenden la generación de calor, electricidad, entre otros.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	1) Balance Nacional de hidrocarburos y Biocombustibles: 2019 unidades originales. 2) Evolución del consumo de gas distribuido por tipo de uso y/sector - 2019	Gas Licuado de petróleo, Gasolina de Motor, Diesel Oil, Gas de refinерía (10³ Bbl) y Gas distribuido (10⁶ PC)	Ministerio de Energía y Minas (2019). Balance Nacional de Energía 2019. Tabla N° 72, Página 163 y "Tabla N° 70, Página 159 Recuperado de: http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633 Fecha de acceso: 16/03/2022	El anuario estadístico de Electricidad reporta el consumo de combustible requerido por las refinерías para la generación de energía eléctrica. El consumo de combustibles para la generación da calor solo se dispone para el gas natural, del resto de combustibles se dispone, pero de forma agregada al sector: consumo propio sector energía (del Balance Nacional de Energía) que incluye refinерías y otras industrias energéticas. Mientras no haya información desagregada esta última se considerará en la fuente 1A1cii.
1A1cii Otras industrias de la energía	Emisiones de todas aquellas industrias energéticas no consideradas anteriormente: industrias que producen carbón vegetal, bagazo, aserrín, tallos de planta de algodón y carbonización	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Balance Nacional de hidrocarburos y Biocombustibles: 2019 unidades originales.	Gas Lic, Gasolina de Motor, Diésel Oil, No energéticos petróleo y gas, gas de refinерía (10³ Bbl) y Gas	Ministerio de Energía y Minas (2019). Balance Nacional de Energía 2019. Tabla N° 72, Página 163 y "Tabla N° 70, Página 159 Recuperado de: http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633	Para esta fuente se ha considerado todo el combustible consumido por el "sector energía" según como figura en el BNE. En esta fuente debe haber consumo de combustibles por refinерías, pero dado que no hay esa segregación es que todo se ha considerado en esta fuente.

Fuente de emisión	Descripción de la fuente de emisión	Dato de actividad IPCC	Dato nacional	Unidad de dato nacional	Fuente de información	Comentarios
	de biocombustibles; minería de carbón; extracción de petróleo y gas; y procesamiento y refinación del gas natural.			distribuido (10 ⁶ PC)	Fecha de acceso: 16/03/2022	
1A2i: Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Emisiones de GEI generadas por la combustión en actividades de extracción de minerales metalíferos, otras minas y canteras.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo de energía en el sector minero	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2020. Ir al ítem 6.3.7 Sector Minero Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3519366/BLANCE%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%202020_compressed.pdf.pdf Fecha de acceso: 18/10/2022	En el BNE, en esta fuente se nombra como sector minería y se describe como: "sector que abarca el consumo de energía de las actividades de minería extractiva", dicho consumo se encuentra expresado en TJ.
1A2m: Industria no especificada	Emisiones generadas por todo tipo de industria no incluida según la clasificación del IPCC. Sin embargo, dado que a nivel nacional no existe información con el nivel de desagregación requerido; en esta fuente se ha incluido la información del sector industrial obtenida del Balance Nacional de Energía.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo de energía en el sector industrial	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2020. Ir al ítem 6.3.8 Sector Industrial Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3519366/BLANCE%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%202020_compressed.pdf.pdf Fecha de acceso: 18/10/2022	Este sector es descrito en el BNE como: "sector que comprende todas las actividades de la industria manufacturera, actividades relacionadas con la elaboración de productos de pescado y la fabricación de azúcar; también incluye la construcción de viviendas, edificios y obras civiles en general, actividades de minero-metalúrgico. Dado que no se especifica mayor detalle, todo se estima en esta categoría general. Aquí también se considera el combustible consumido, según tipo, para la auto generación de electricidad.
			Empresas que generan para su propio uso	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Electricidad (2019). Anuario Estadístico de Electricidad 2019. ANEXO 9 Consumo mensual y tipo de combustible por unidad de generación 2019 Recuperado de: http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633 Fecha de acceso: 24/03/2022	

Fuente de emisión	Descripción de la fuente de emisión	Dato de actividad IPCC	Dato nacional	Unidad de dato nacional	Fuente de información	Comentarios
1A4a Comercial/Institucional	En esta se incluyen, según las directrices del IPCC, las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles en edificios comerciales e institucionales. Para el caso de Perú, en esta categoría se considera información nacional del sector comercial y público.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo de energía en los sectores comercial y público	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2020. Ir al ítem 6.3.2 Sector Comercial y al ítem 6.3.3 Sector Público. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3519366/BLANCE%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%202020_copressed.pdf.pdf Fecha de consulta: 18/10/2022	El BNE conceptualiza al sector público (institucional) como: “El consumo de energía del sector público comprende al consumo de las fuerzas armadas, administración pública y servicios de agua y desagüe, en ellos se incluyen las municipalidades, ministerios, actividades de defensa y de mantenimiento del orden público y de seguridad, entre las más importantes”. El sector comercial se conceptualiza como “todas las actividades comerciales (hospitales, colegios, restaurantes, hoteles, lavanderías y empresas financieras entre los establecimientos más importantes) en el ámbito nacional”
1A4b Residencial	En esta fuente se consideran todas las emisiones de GEI generadas por el consumo de combustibles en hogares.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo de energía en el sector residencial	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2020. Ir al ítem 6.3.1 Sector Residencial. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3519366/BLANCE%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%202020_copressed.pdf.pdf Fecha de consulta: 18/10/2022	Esta información es obtenida del Balance Nacional de Energía del sector: Residencial. Dicho Balance conceptualiza esta fuente como: “sector que comprende a los usos que se dan debido a las actividades domésticas desarrolladas en los hogares urbanos y rurales”
1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	Se debería incluir en esta fuente, según lo estipulado por el IPCC, las emisiones por la quema de combustibles utilizados en agricultura, silvicultura, pesca e industrias pesqueras, tales como piscifactorías.	Cantidad de combustible quemado (TJ)	Consumo de energía en el sector agropecuario Consumo de energía en el sector pesquero	Terajulios (TJ)	Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2020. Ir al ítem 6.3.6 Sector Agropecuario. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3519366/BLANCE%20NACIONAL%20DE%20ENERGIA%202020_copressed.pdf.pdf Fecha de consulta: 18/10/2022	En el caso del presente RAGEI se han considerado como fuente de información del consumo de energía (distintos a la generación de electricidad) de los sectores pesca y agropecuario el BNE, los cuales poseen las siguientes definiciones. Sector Pesca: “agrupa el consumo de energía de las actividades de la pesca extractiva” y Sector Agropecuario: “comprende el consumo de combustibles de las actividades agropecuarias”.
Uso de la información: Los datos de actividad tomados de las fuentes de información nacional descritas, son multiplicados por los respectivos factores de emisión que están dados en Gg de cada GEI / TJ (los cuales se asumen por defecto para cada combustible y fuente de emisión) para obtener las emisiones respectivas en unidades de masa (Gg). En los casos para los cuales la unidad del dato de actividad nacional es diferente a TJ, es necesario emplear los respectivos factores de conversión para convertir las unidades originales en unidades de energía (TJ).						

Fuente: DGEE – MINEM

6.1.4. Factores de emisión y de conversión.

Los factores de emisión aquí presentados son obtenidos casi todos de las Directrices del IPCC de 2006 con excepción del factor de emisión para estimar las emisiones de CO₂ por la quema del gas natural. La metodología seguida para obtener este factor de emisión nacional se describe en el Anexo 4.

Tabla 17. Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria

Combustible	Todas las subcategorías	las industrias energéticas y manufactureras		1A4a Comercial/Institucional		1A4b Residencial		1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O
	FE (kgCO ₂ /TJ)	FE (kgCH ₄ /TJ)	FE (kgN ₂ O/TJ)	FE (kgCH ₄ /TJ)	FE (kgN ₂ O/TJ)	FE (kgCH ₄ /TJ)	FE (kgN ₂ O/TJ)	FE (kgCH ₄ /TJ)	FE (kgN ₂ O/TJ)
Gas Natural Licuado	64,200	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Gasolina para motores	69.300	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Gas/Diésel Oil	74.100	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Fuelóleo residual	77.400	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Gases licuados de petróleo	63.100	1,00	0,10	5,00	0,10	5,00	0,10	5,00	0,10
Antracita	98.300	1,00	1,50	10,00	1,50	300,00	1,50	300,00	1,50
Carbón de coque	94.600	1,00	1,50	10,00	1,50	300,00	1,50	300,00	1,50
Gas natural	56.293.26 ²	1,00	0,10	5,00	0,10	5,00	0,10	5,00	0,10
Biogasolina	70.800	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Biodiésel	70.800	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Otros biocombustibles líquidos	79.600	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60
Otra biomasa sólida primaria	100.000	30,00	4,00	300,00	4,00	300,00	4,00	300,00	4,00
Madera/Desechos de madera	112.000	300,00	4,00	300,00	4,00	300,00	4,00	300,00	4,00
Carbón vegetal	112.000	200,00	4,00	200,00	4,00	200,00	1,00	200,00	4,00
Gas de vertedero	54.600	1,00	0,10	1,00	0,10	1,00	0,10	1,00	0,10
Kerosene	71.900	3,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60	10,00	0,60

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol.2, Cap. 2, Pág. 2.16 – 2.23.

Para utilizar los factores de emisión señalados anteriormente y según cada fuente de emisión de GEI se ha tenido que usar distintos factores de conversión de manera que se llevan las unidades originales a las requeridas según cada factor de emisión. Los factores de conversión que se han requerido son los presentados en la Tabla 18.

Tabla 18. Valor calórico neto de los combustibles producidos en Perú

Tipo de combustible	VCN	Unidad	Fuente
Petróleo Industrial 500	1,51E-04	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial 6	1,50E-04	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial	1,51E-04	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gasolina	1,18E-04	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Diésel	1,35E-04	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Gas Licuado de Petróleo	2,64E-02	TJ/m ³	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gas Natural	3,60E-05	TJ/m ³	Cálculo a partir de datos de Calidda
Bagazo	1,16E-02	TJ/t	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006

² Valor de factor de emisión nacional obtenido en base a metodología del documento: Compendium of green house gas emissions methodologies for the oil and natural gas industries/American Petroleum Institute

Tipo de combustible	VCN	Unidad	Fuente
Carbón vegetal	2,95E-02	TJ/t	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006
Carbón mineral	2,67E-02	TJ/t	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006
Gas de refinería	6,49E-05	TJ/m ³	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006
Etanol	9,05E-05	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006
Biocombustible	9,05E-05	TJ/gal	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006
Biogás (vertedero)	6,12E-05	TJ/m ³	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006

Fuente: DGEE – MINEM

Tabla 19. Densidades de los combustibles producidos en Perú

Combustible	Densidad	Unidad	Fuente
Petróleo Industrial 6	3,71E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial 500	3,75E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial	3,73E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gasolina	2,73E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Diésel	3,14E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Gas Licuado de Petróleo	5,58E-04	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gas de refinería	1,31E-06	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Gas Natural	7,88E-07	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de Calidda
Etanol	3,35E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de NTP 321.125
Biodiesel	3,35E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de NTP 321.125
Biogás (vertedero)	1,22E-06	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006

Fuente: DGEE - MINEM

Los factores de conversión utilizados, valor calórico neto y densidad, han sido los mismos que se utilizaron para el RAGEI 2016 y que provienen en algunos casos de fuentes oficiales nacionales. Estos valores se presentan a continuación y sobre los mismos se realiza un análisis comparativo respecto a los rangos que da el IPCC.

Tabla 20. Valor calórico neto (TJ/Gg) de los combustibles producidos en Perú y del IPCC

Tipo de combustible	VCN	Valor IPCC		
		Defecto	Inferior	Superior
Petróleo Industrial	40,40	42,30	40,10	44,80
Gasolina	44,80	44,30	42,50	44,80
Diesel	42,81	43,00	41,40	43,30
Gas Licuado de Petróleo	47,31	47,30	44,80	52,20
Gas Natural	45,76	48,00	46,50	50,40
Gas de refinería	49,50	49,50	47,50	50,60
Gas Natural Licuado	44,20	44,20	40,90	46,90
Etanol	27,00	27,00	13,60	54,00
Biodiesel	27,00	27,00	13,60	54,00
Biogás	50,40	50,40	25,40	100,00
Bagazo y otra biomasa	11,60	11,60	5,90	23,00
Carbón vegetal	29,50	29,50	14,90	58,00

Fuente: DGEE - MINEM

De la tabla anterior se puede apreciar que el único valor que esta fuera del rango que da el IPCC es para el caso del valor del gas natural, este es 1.6% menor al valor inferior. El dato de valor del gas natural se ha obtenido utilizando el valor proveído por la industria nacional.

Las densidades utilizadas, en algunos casos para estimar los factores de emisión presentados en la tabla anterior, se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Densidades de los combustibles producidos en Perú

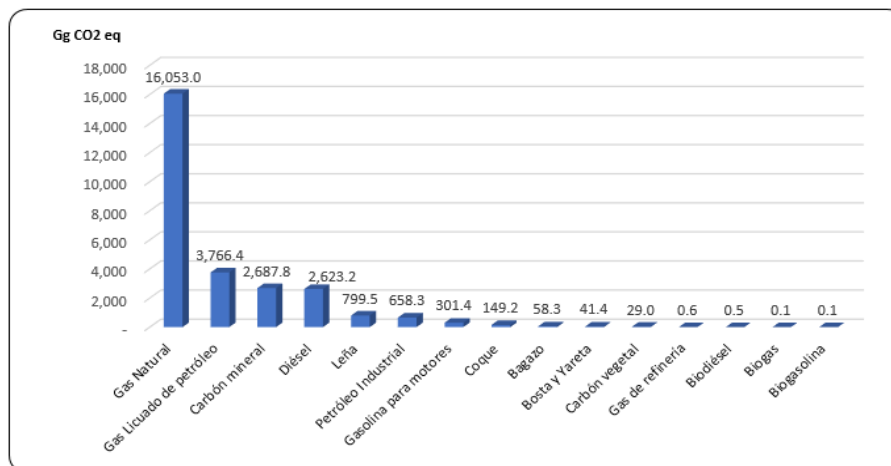
Combustible	Densidad	Unidad	Fuente
Petróleo Industrial 6	3,71E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial 500	3,75E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Petróleo Industrial	3,73E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gasolina	2,73E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Diésel	3,14E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Gas Licuado de Petróleo	5,58E-04	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de REPSOL y PETROPERU
Gas de refinería	1,31E-06	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de REPSOL
Gas Natural	7,88E-07	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de Calidda
Etanol	3,35E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de NTP 321.125
Biodiesel	3,35E-06	Gg/gal	Cálculo a partir de datos de NTP 321.125
Biogás (vertedero)	1,22E-06	Gg/m ³	Cálculo a partir de datos de datos de GL2006

Fuente: DGEE – MINEM

6.1.5. Análisis de resultados

En el Gráfico 22 se presentan los resultados de emisiones GEI por cada uno de los combustibles empleados en el sector energía. Como se observa, es el gas natural el combustible mayormente consumido y por ende el que genera mayores emisiones, aportando el 59.09% de las emisiones nacionales asociadas a la quema de combustibles. En segundo, tercer y cuarto lugar se encuentran el Gas Licuado de Petróleo, el Carbón Mineral y el Diésel, aportando un 13.86%, 9.89% y 9.66% respectivamente. En conjunto, estos 4 combustibles aportan el 92.50% de las emisiones totales por quema de combustible en 2019.

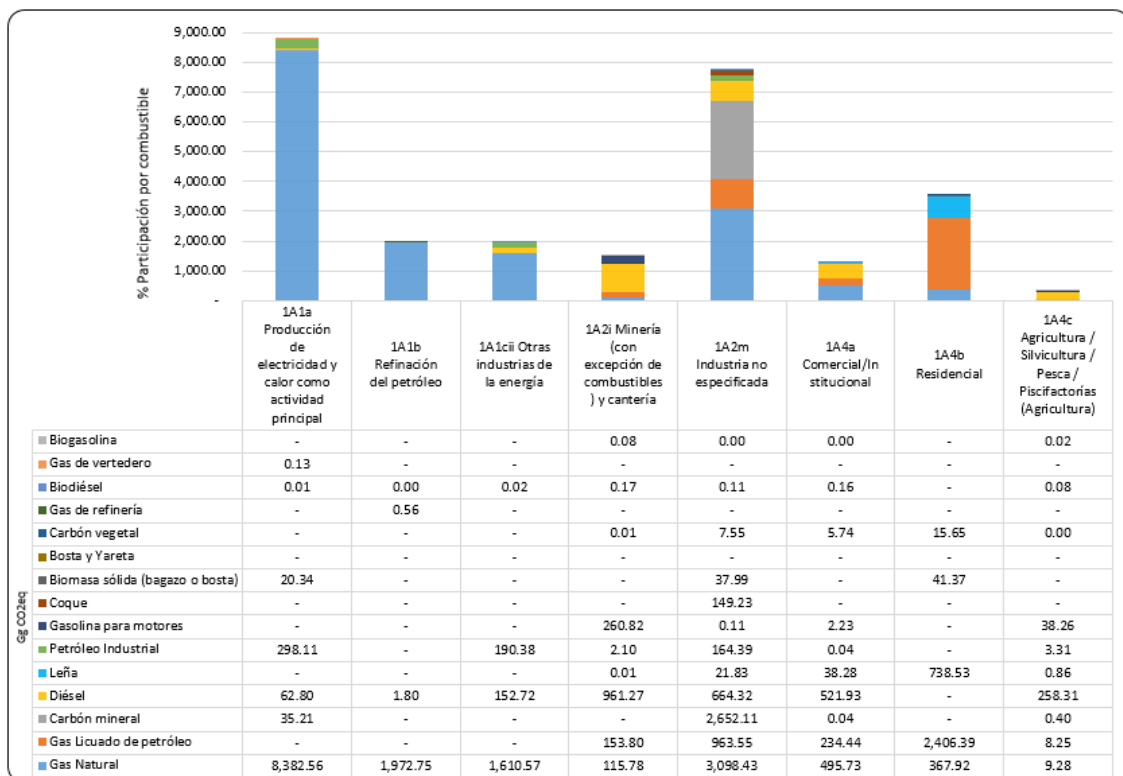
Gráfico 22. Emisiones de GEI según combustibles - 2019



Fuente: DGEE – MINEM

Es importante recalcar que el gas natural es el combustible que menores emisiones de GEI emite en comparación con otros combustibles fósiles. En ese sentido, es importante su gran participación, de no existir este combustible las emisiones de GEI serían mayores salvo que exista una mayor inclusión de energías limpias (renovables, geotérmica, entre otras) las que no generan emisión alguna. El carbón mineral y diésel son grandes emisores debido a su alto contenido de carbón y representan el 9.89% y 9.66% de las emisiones nacionales por quema de combustibles. A continuación, se presentan las emisiones de GEI según fuente y al tipo de combustible asociadas a esta categoría.

Gráfico 23. Emisiones de GEI (Gg de CO₂eq) según fuentes y combustibles – Categoría 1A

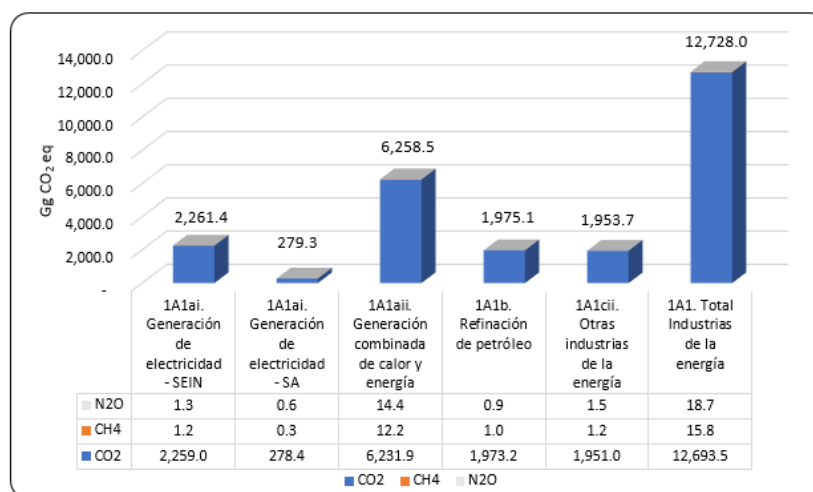


Fuente: DGEE – MINEM

6.1.5.1. Industrias de la energía – Subcategoría 1A1.

En conjunto, las fuentes de emisión de industrias de la energía agregan un total de 12,728.95 Gg de CO₂eq, que representan un 33.87% del total de las emisiones abarcadas en el presente RAGEI y el 46.85% de las emisiones de la categoría 1A – Quema de combustibles. A continuación, se presentan las emisiones por cada una de las fuentes de emisión estimadas dentro de la subcategoría “Otros sectores” por GEI (Gráfico 24) y por tipo de combustible (Gráfico 25).

Gráfico 24. Emisiones de GEI (Gg CO₂eq) por fuente de emisión y GEI de las industrias de la energía – Subcategoría 1A1.

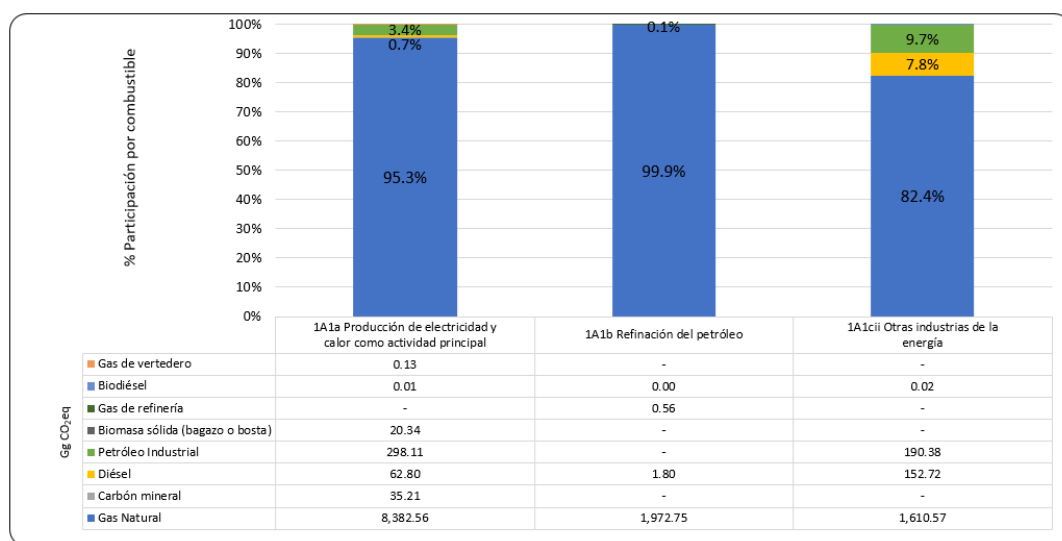


Fuente: DGEE – MINEM

Como se observa en el Gráfico 24, el principal GEI generado por las industrias de la energía es el CO₂, el cual representa el 99.73% de las emisiones totales.

En la gráfica también se puede observar que las industrias de la energía que más generan emisiones son las que tienen como actividad principal, la generación de electricidad y calor (generación de electricidad del SEIN y SA + generación combinada de calor y energía), las cuales en conjunto suman 8,799.16 Gg de CO₂eq (69.13% del total de esta subcategoría y 32.39% de la categoría 1A - Quema de combustibles). Las industrias de refinación de petróleo aportan 15.52% del total de la subcategoría y 7.27% de la categoría 1A - Quema de combustibles. Las otras industrias de la energía aportan el 15.35% y 7.19% respectivamente a la subcategoría y categoría.

Gráfico 25. Emisiones de GEI (Gg CO₂eq) y participación por combustible de las industrias de la energía- Subcategoría 1A1



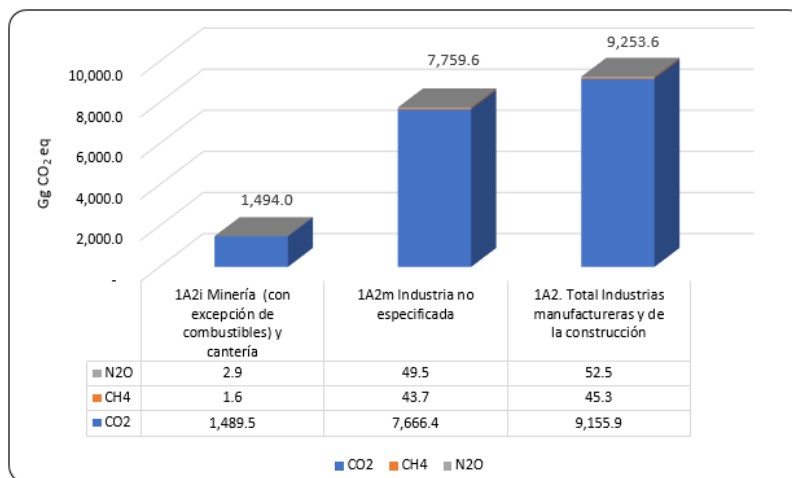
Fuente: DGEE – MINEM

6.1.5.2. Industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2.

En conjunto, las fuentes de emisión de industrias manufactureras y de la construcción agregan un total de 9,253.65 Gg de CO₂eq, que representan un 24.62% del total de las emisiones abarcadas en el presente RAGEI y 34.06% de las emisiones de la categoría 1A – Quema de combustibles. A continuación, se presentan las emisiones por cada una de las fuentes de emisión estimadas dentro de la subcategoría “Otros sectores” por GEI (Gráfico 26) y por tipo de combustible (Gráfico 27).

Como se observa en el Gráfico 26, el principal GEI generado por las industrias manufactureras y de la construcción es el CO₂, el cual representa el 98.94% de las emisiones de esta subcategoría.

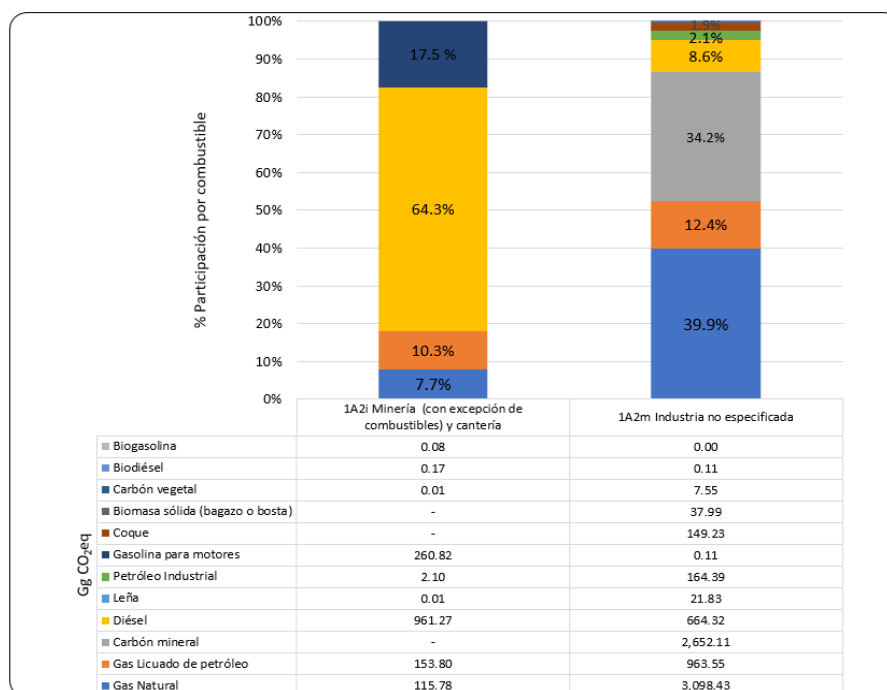
Gráfico 26. Emisiones de GEI por fuente de emisión de las industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2.



Fuente: DGEE – MINEM

En la gráfica también se puede observar que la fuente de emisión denominada “industria no especificada” es la que más aporta a las emisiones. Es importante recordar que, esta fuente de emisión, para el caso de Perú, agrega las emisiones de todas las industrias manufactureras para las cuales no fue posible contar con datos de actividad desagregado. Por lo tanto, estas emisiones que representan el 83.85% de esta subcategoría, hacen referencia a las emisiones agregadas de varios tipos de industrias del país. Por su parte, la minería (excluida la de carbón), aporta el 16.15% de las emisiones de este grupo.

Gráfico 27. Emisiones de GEI (Gg CO2eq) y participación por combustible de las industrias manufactureras y de la construcción – Subcategoría 1A2.



Fuente: DGEE – MINEM

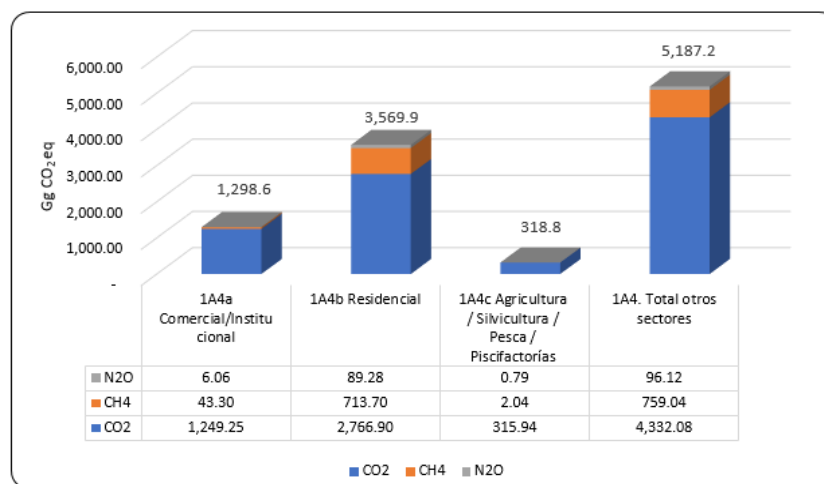
Del Gráfico 27 se observa que, en esta subcategoría se realiza un uso importante de varios tipos de combustibles, siendo los principales el gas natural, carbón mineral, diésel y gas licuado de petróleo, los cuales en conjunto agregan el 93.04% de las emisiones totales de esta

subcategoría. Específicamente, para el grupo de industrias no especificadas, el principal combustible empleado es el gas natural con un 39.93% del total y en el caso de las mineras es el diésel, con una participación del 64.34%.

6.1.5.3. Otros sectores – Subcategoría 1A4.

En conjunto, las fuentes de emisión de esta subcategoría agregan un total de 5,187.24 Gg de CO₂ eq, que representan un 13.80% del total de las emisiones abarcadas en el presente RAGEI y el 19.09% de las emisiones de la categoría 1A – Quema de combustibles. A continuación, se presentan las emisiones por cada una de las fuentes de emisión estimadas dentro de la subcategoría “Otros sectores” por GEI (Gráfico 28) y por tipo de combustible (Gráfico 29).

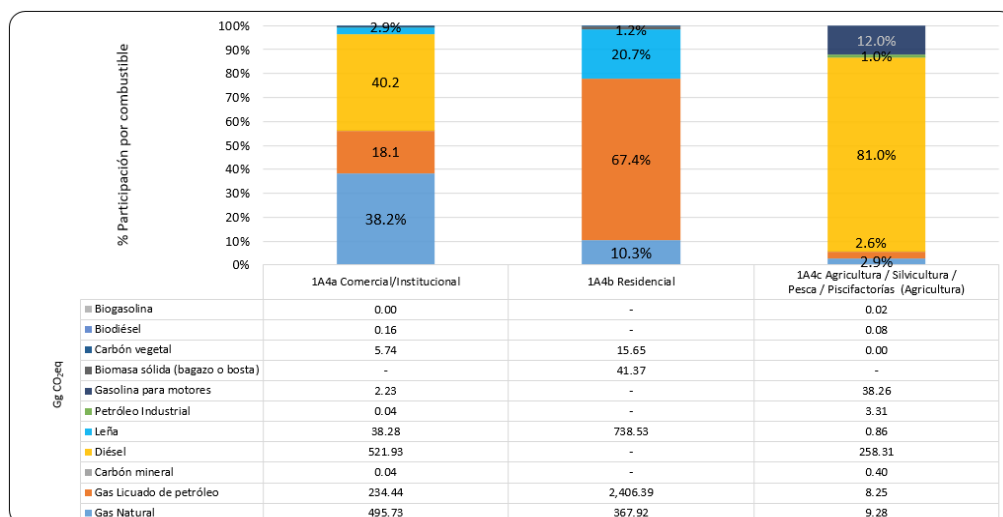
Gráfico 28. Emisiones de GEI por fuente de emisión de otros sectores – Subcategoría 1A4.



Fuente: DGEE – MINEM

Como se observa en el Gráfico 28, el principal GEI generado es el CO₂, el cual representa el 83.51% de las emisiones totales de esta subcategoría. En la gráfica también se puede observar que el uso de combustibles en el sector residencial es el que más genera emisiones, aportando el 68.82% de las emisiones de esta subcategoría, seguido por el sector comercial y público, con un aporte del 25.03%.

Gráfico 29. Emisiones de GEI (Gg CO₂eq) y participación por combustible de otros sectores – Subcategoría 1A4



Del gráfico 29 se observa que, en esta subcategoría se realiza un uso importante de varios tipos de combustibles, siendo los principales el gas licuado de petróleo, gas natural, leña y diésel, los cuales en conjunto agregan el 97.93% de las emisiones totales de esta subcategoría

6.1.6. Sigüientes pasos

La Tabla 22 presenta acciones de mejora propuestas para la elaboración de futuros RAGEI, categoría 1A1.

Tabla 22. Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI en base a la revisión del equipo sectorial

	Descripción de la acción de mejora propuesta	Impacto en la estimación de tCO ₂ eq de la serie temporal u otros atributos del RAGEI	Nivel de avance en la implementación	Periodo de implementación ³
1	Revisar e incluir el consumo de combustible de las empresas de generación de electricidad denominadas “no informantes”.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI en la categoría 1A1.	No se han iniciado acciones de implementación	Corto plazo
2	Desagregar el consumo de combustibles por tipo industria, el cual se encuentra reportado en forma agregada en la categoría 1A2m. Para dicha actividad se requiere realizar una encuesta de consumo de energía útil en el sector industria	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo
3	Incluir dentro de la categoría “Consumo Propio del Sector Energía” definido en el Balance Nacional de Energía el consumo de combustible derivado del transporte por oleoductos, gaseoductos y poliductos.	Mejorar la exactitud de la categoría 1A1cii “Otras industrias de la energía”.	No se han iniciado acciones de implementación	Mediano plazo
4	Revisar y ajustar los factores de conversión y emisión específicos de los combustibles a nivel nacional.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
5	Desarrollar el Método de Referencia para la serie completa de inventarios reportados. Incluir en la sección del Método de Referencia (MR) una tabla con los consumos de los combustibles fósiles por tipo (sólido, líquido y gaseoso) empleados en el MR y el Método Sectorial y mejorar la explicación acerca de las diferencias de estos consumos.	Mejora la transparencia de los resultados.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo
6	Recopilar información a nivel de las plantas más importantes productoras y consumidoras de combustibles con fines tanto	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo

³ Es recomendable que las entidades realicen un plan de trabajo interno más detallado, y que luego de ser validado se inserte en el siguiente RAGEI.

	Descripción de la acción de mejora propuesta	Impacto en la estimación de tCO ₂ eq de la serie temporal u otros atributos del RAGEI	Nivel de avance en la implementación	Periodo de implementación ⁿ³
	energéticos como no energéticos (ej. solicitar información a la empresa SESUVECA con la finalidad de conocer si tienen producción local o están importando el coque metalúrgico, solicitar un nivel de desagregación que corresponda al máximo con las subcategorías de la combustión estacionaria, etc). En el caso de que se produzca coque metalúrgico en Perú, las correspondientes emisiones asociadas con la quema de combustibles para su producción de deberán estimar y reportar en la subcategoría fabricación de combustibles sólidos (1.A.2.c. i).			
7	Colectar información sobre el uso de combustibles como alimentación a procesos, reductores y para fines no energéticos para realizar la estimación de carbono excluido.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
8	Estimar las emisiones de CO ₂ en línea con los árboles de decisión de las directrices del IPCC de 2006. Esto implica emplear metodologías de nivel superior para las categorías identificadas como principales. En caso se utilice un método de nivel 1 para estimar emisiones de una categoría principal, documentar claramente por qué la elección metodológica no se ajustó al correspondiente árbol de decisión de las directrices del IPCC.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
9	Reconciliar los datos de actividad cuando se emplean dos o más fuentes de datos para una categoría o subcategoría. Incluir en un Anexo, una lista completa y clara de los factores de conversión utilizados, así como del proceso de reconciliación efectuado de manera a documentar y asegurar la exactitud de la estimación de las emisiones.	Mejora la transparencia de los resultados.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo
10	Revisar la estimación del VCN del gas natural y recalcular los datos de actividad de gas natural y las correspondientes emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O para toda la serie de inventarios desarrollados.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo
11	Documentar los criterios para asignar actividades a las subcategorías 1A1ai o 1A1aii. Verificar que no se incluyan	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo

	Descripción de la acción de mejora propuesta	Impacto en la estimación de tCO ₂ eq de la serie temporal u otros atributos del RAGEI	Nivel de avance en la implementación	Periodo de implementación ⁿ³
	autoprodutores en ninguna de ellas.			
12	Reportar al menos las emisiones de los autoprodutores en las correspondientes subcategorías y reportar solo en la subcategoría 1A2m las emisiones que no pudieron ser desagregadas.	Mejora la comparabilidad de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Corto plazo
13	Desarrollar un balance de carbono para las acerías integradas para lograr una estimación transparente, precisa y comparable de las emisiones de esta subcategoría y reportar las correspondientes emisiones en el sector energía (combustión) y en el sector PIUP (agente reductor).	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
14	Identificar el uso de combustibles fósiles como posibles agentes reductores en la fabricación de Pb, Zn y tal vez Mg y reportar las correspondientes emisiones en el sector energía (combustión) y en el sector PIUP (agente reductor).	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
15	Verificar que las tecnologías de producción de la industria química peruana no utilizan combustibles como materia prima. En el caso de que efectivamente ninguna de las sustancias químicas elaboradas en Perú requiera de combustibles como materia prima, no es necesaria acción alguna.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo

6.2. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles (1B)

En esta categoría se incluyen todas las emisiones intencionales y no intencionales emanadas de la extracción, el procesamiento, almacenamiento y transporte de combustibles al punto de uso final. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes fuentes:

- 1B1: Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos
- 1B2: Emisiones fugitivas por producción de petróleo y gas natural

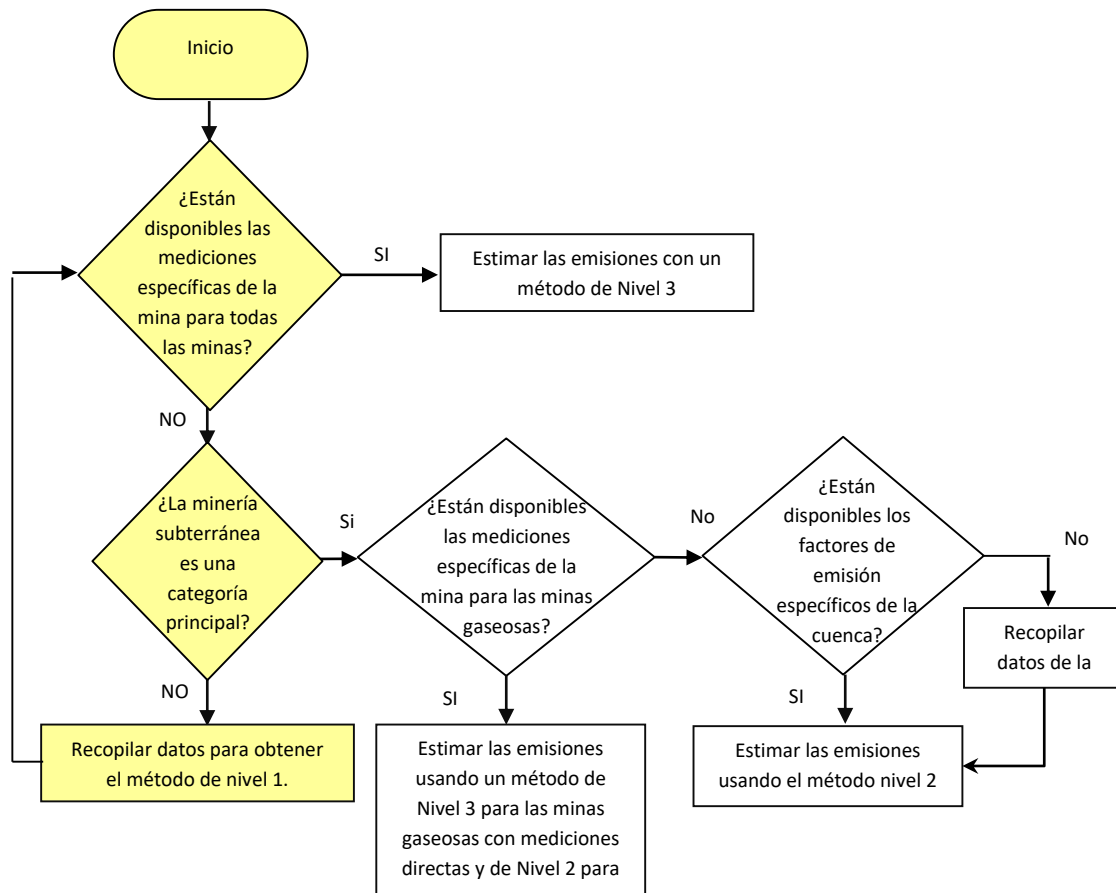
6.2.1. Método de cálculo

La metodología seguida para estimar las emisiones de GEI en esta categoría varía según cada fuente de emisión de GEI. Tal como en el caso de la categoría 1A – Quema de combustibles, se utilizaron los árboles de decisión del IPCC para establecer el nivel metodológico, como se describe a continuación.

6.2.1.1. Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos (1B1).

En el Gráfico 30 se presenta el árbol de decisiones para la extracción de minas de carbón subterráneo, considerando que para el presente RAGEI se asume un 100% de producción de carbón a través de este tipo de minas.

Gráfico 30. Árbol de decisión para las minas de carbón subterráneo



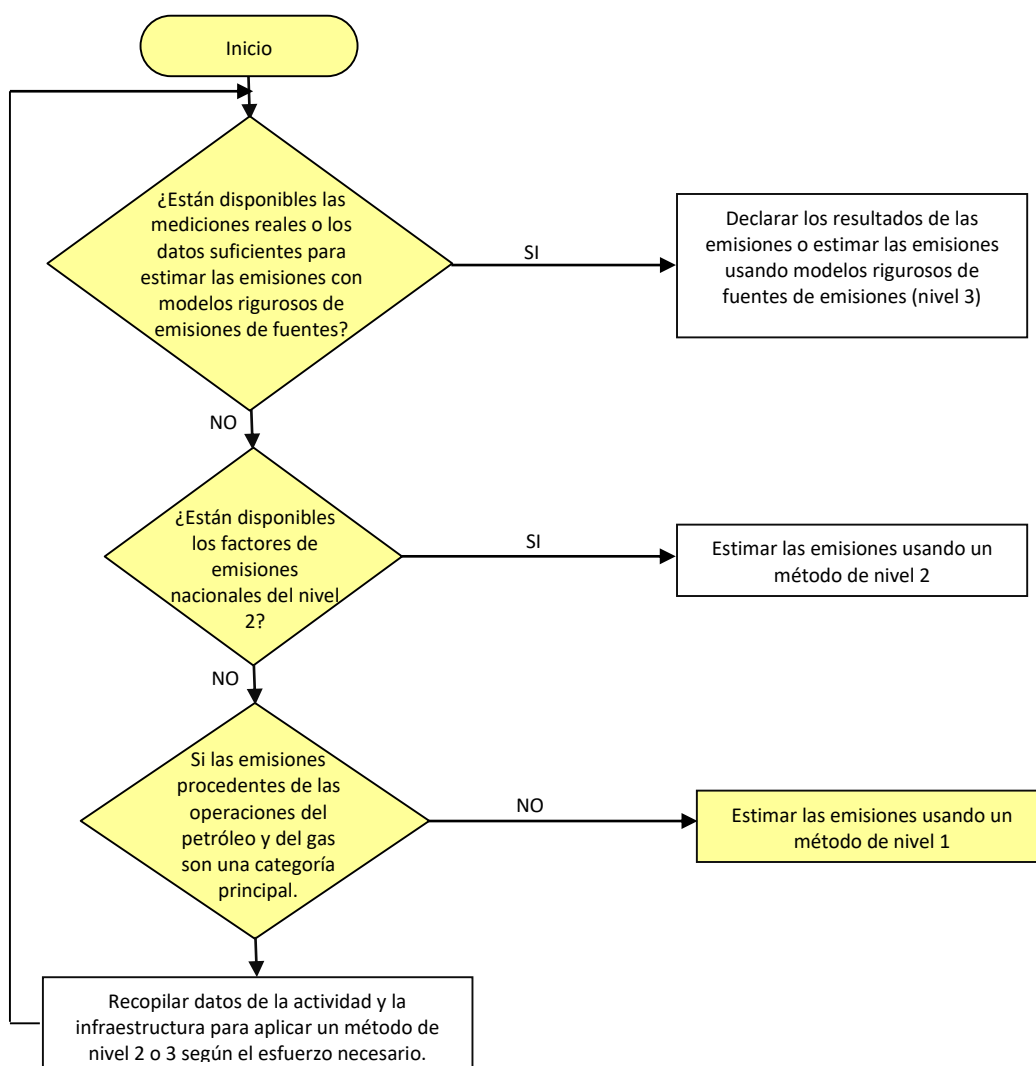
Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap.4, Pág. 4.11

En el Perú no se dispone de información sobre mediciones específicas en minerías subterráneas de carbón, ni se posee a nivel nacional un método de cálculo establecido para las emisiones GEI. Tampoco son consideradas como categoría principal por ende se usa el nivel 1 de estimación para el CH₄, único gas generado en esta subcategoría.

6.2.1.2. Emisiones fugitivas por producción de petróleo y gas natural (1B2).

En el Gráfico 31 se presentan el árbol de decisión para establecer el nivel metodológico para la estimación de las emisiones fugitivas en los sistemas de gas natural y en el Gráfico 32 para la producción de petróleo crudo.

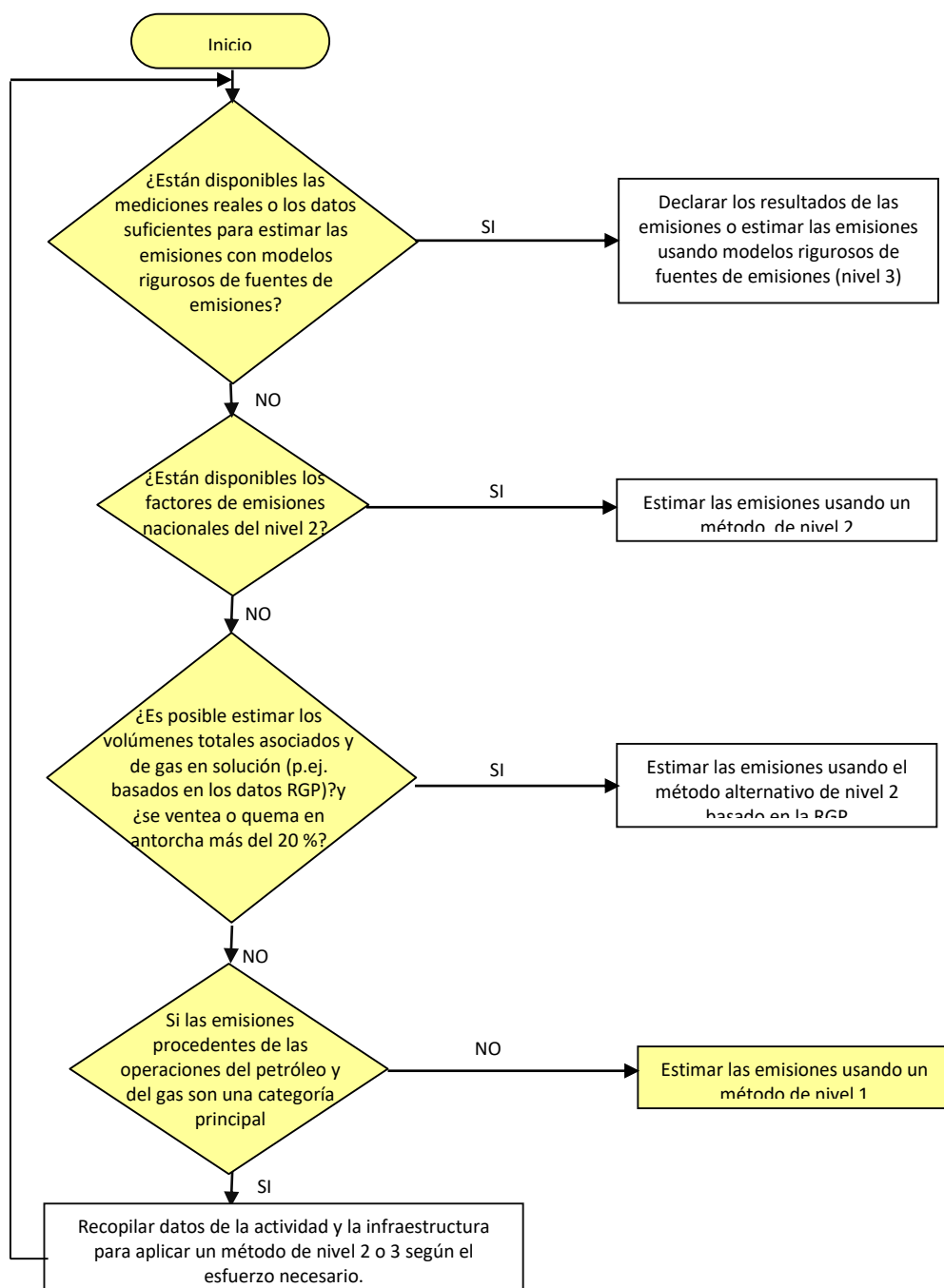
Gráfico 31. Árbol de decisión para los sistemas de gas natural



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap.4, Pág. 4.39

Para la estimación de CH₄, el árbol de decisiones indica aplicar el Nivel 2, dado que las emisiones de CH₄ de la subcategoría de gas natural fue identificada como categoría principal. No obstante, debido a que no contamos con factores de emisión específicos del país se aplica el método de Nivel 1.

Gráfico 32. Árbol de decisión para la producción de petróleo crudo



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap.4, Pág. 4.39

Para la estimación de CH₄, el árbol de decisiones indica aplicar el Nivel 2, dado que las emisiones de CH₄ de la subcategoría de petróleo fue identificada como categoría principal. No obstante, debido a que no contamos con factores de emisión específicos del país se aplica el método de Nivel 1.

En la Tabla 23 se resume, para cada fuente de emisión de GEI los GEI estimados y el nivel metodológico empleado en cada caso.

Tabla 23. Método de cálculo empleado para cada GEI y fuente de emisión en la categoría 1B.

Subcategoría	Categorías de fuentes	GEI	Combustible	Nivel metodológico
1B1. Emisiones Fugitivas - Combustibles sólidos	1B1a. Minería y manejo del carbón – Minería subterránea	CH ₄	Carbón mineral	Nivel 1
1B2. Emisiones fugitivas - Petróleo y gas natural	1B2a. Petróleo: Venteo, Producción y refinación	CO ₂ , CH ₄	Petróleo	Nivel 1
	1B2a. Petróleo: Quema en antorcha	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Petróleo	Nivel 1
	1B2b. Gas natural: Venteo, producción, transmisión y almacenamiento, distribución	CO ₂ , CH ₄	Gas Natural	Nivel 1
	1B2b. Gas natural: Quema en antorcha, procesamiento	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Gas Natural	Nivel 1

Fuente: DGEE – MINEM

6.2.2. Ecuaciones utilizadas para la categoría 1B

Para la estimación de las emisiones de esta categoría se emplearon las ecuaciones sugeridas por el IPCC. Estas se presentan a continuación, para cada una de las subcategorías incluidas en este cálculo.

1B1. Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos

Ecuación 3: Estimación de las emisiones procedentes de minas de carbón subterráneas para Nivel 1 y 2, sin ajuste para utilización o quema en antorcha del metano

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{producción de carbón no lavado} \bullet \text{FE} \bullet \text{FC}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.9

Dónde:

FE = factor de emisión

FC = factor de conversión de unidades

Ecuación 4: Método de promedio global – extracción subterránea – antes de realizar ajustes para utilización de metano o quema en antorcha

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \text{FE}_{\text{CH}_4} \bullet \text{Producción de carbón subterráneo} \bullet \text{FC}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.11

Dónde:

FE_{CH₄} = factor de emisión del metano

FC = factor de conversión de unidades

1B2: Emisiones fugitivas por producción de petróleo y gas natural

Ecuación 5: Nivel 1: estimación de las emisiones fugitivas procedentes de un segmento de la industria

$$E_{\text{gas, segmento de la industria}} = A_{\text{segmento de la industria}} \bullet \text{FE}_{\text{gas segmento de la industria}}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.41

Ecuación 6: Nivel 1: total de emisiones fugitivas procedentes de los segmentos de la industria

$$\text{Emisiones}_{\text{gas}} = \sum_{\text{segmento de la industria}} E_{\text{gas, segmento de la industria}}$$

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.11

Dónde:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{gas segmento de la industria}} &= \text{Emisiones anuales (Gg)} \\
 A_{\text{segmento de la industria}} &= \text{Factor de emisión (Gg/unidad de actividad)} \\
 FE_{\text{gas segmento de la industria}} &= \text{Valor de la actividad (unidades de actividad)}
 \end{aligned}$$

6.2.3. Datos de actividad

La categoría 1B - Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles se divide en tres fuentes de emisión principales, las cuales son:

- **1B1: COMBUSTIBLES SÓLIDOS:** En esta subcategoría se deben incluir todas las emisiones de GEI intencionales y no intencionales emanadas de la extracción, el procesamiento, almacenamiento y transporte de combustibles al punto de uso final, estas incluyen: a) El gas drenado producido por los sistemas de desgasificación, b) ventilación, c) emisiones posteriores a la extracción, d) volumen de metano recuperado y utilizado o quemado en antorcha y e) minas de carbón subterráneas abandonadas.
- **1B2A: PETRÓLEO:** En esta subcategoría se consideran todas las emisiones de GEI generadas por venteo, quema en antorcha y producción y refinación de petróleo crudo.
- **1B2B: GAS NATURAL:** En esta subcategoría se abarcan las emisiones por venteo, quema en antorcha y toda otra fuente fugitiva vinculada al procesamiento, transporte, almacenamiento y a la distribución de gas natural.

En la Tabla 24, se describen los datos de actividad requeridos para estimar las emisiones GEI en cada una de las fuentes de emisión correspondientes a las subcategorías descritas anteriormente, así como las fuentes de información y algunos comentarios sobre el procesamiento y uso de los datos nacionales.

Tabla 24. Datos de actividad y fuentes de información de la categoría 1B.

Fuente de emisión	Descripción	Dato de actividad IPCC	Dato nacional	Unidad	Fuente de información
1B1ai. Minas subterráneas de carbón -Minería	Emisiones de gas por grietas venteadas a la atmósfera por sistemas de ventilación del aire y de desgasificación de minas de carbón. Se desconoce la participación del tipo de actividad minera por lo que se asume, a juicio de expertos, que todo el carbón proviene de la minería subterránea.	Producción de carbón subterráneo	Producción nacional de carbón (volumen), unidades originales.	ton	PERÚ 2019 ANUARIO MINERO - REPORTE ESTADÍSTICO. Página 85. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Minería. http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=599 Fecha de acceso: 23/03/22
1B1ai. Minas subterráneas de carbón - Emisiones de gas por grietas después de la extracción	En esta fuente se consideran las emisiones de CO2 procedentes de la combustión no controlada debida a las actividades de explotación del carbón. Los datos de actividad (producción de carbón)	Producción de carbón subterráneo	Producción nacional de carbón (volumen), unidades originales.	ton	
1B2a1 - Venteo	En esta fuente se incluyen las emisiones por el venteo de gases y corrientes de desecho de gas / vapor, vinculados en instalaciones petroleras.	Valor de la actividad (unidades de la actividad)	Producción de Hidrocarburos líquidos por zonas geográficas	Bls	Producción de Campo de Petróleo 2019. Perupetro. Estadística Petrolera 2019. Páginas 43 al 47
1B2aii - Quema de antorcha	Fuente que considera las emisiones generadas por la quema en antorcha de gas natural y corrientes de desecho de				Recuperado de: https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/f2052159-3e73-4049-bac3-

Fuente de emisión	Descripción	Dato de actividad IPCC	Dato nacional	Unidad	Fuente de información
	gas/vapor en instalaciones petroleras.				bf2fc0730e45/Estad%C3%ADstica+2019.pdf?MOD=AJPERES&2019
1B2aiii2 - Producción y refinación	Emisiones fugitivas generadas por la producción de petróleo (excluidas la ventilación y la quema en antorcha) que tiene lugar en el cabezal del pozo en las arenas petrolíferas o en minas de esquistos hasta el inicio del sistema de transmisión del petróleo.				Fecha de acceso: 23/03/2022
1B2bi - Venteo	Emisiones generadas por el venteo de gas natural y corrientes de desecho de gas / vapor en instalaciones de gas. Adicionalmente, se consideran las emisiones de venteo generadas por los sistemas usados para transportar gas natural procesado al mercado nacional y exportación	Volumen de gas natural venteado			Exportación de Gas Natural: Perupetro. Estadística - Embarques de Gas Natural para fines de exportación https://www.perupetro.com.pe/wp/sportal/corporativo/PerupetroSite/estadisticas/embarques%20de%20gas%20natural%20para%20fines%20de%20exportaci%C3%B3n/!ut/p/z/1/04_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAfji08zi_YxcTTw8TAy93AN8LQwCTUJcvEKADI9QM_1wsAIDHMDRQD8Kj_5AA6h-HAoCjczw6Tf0McGvH6SAEvtBCqKl8T8eBVH4gydcP4qQkih8bjDzN8WvABSGBbmhQBhKOnpAgAjWp9rg!!/dz/d5/L2dBISvZ0FBIS9nQSEh Fecha de acceso: 24/03/2022
1B2bii - Quema de antorcha	Emisiones por la quema en antorcha de gas natural y corrientes de desecho de gas / vapor en instalaciones de gas.	Volumen de gas natural quemado	Exportación de Gas Natural		
1B2biii3 - Procesamiento	Emisiones fugitivas (excluidas las emanadas por venteo y quema en antorcha) de instalaciones de procesamiento de gas.	Volumen de gas natural vendido	Balance anual de gas natural	MMpie ³	
1B2biii4 - Transmisión y almacenamiento	Emisiones fugitivas de sistemas usados para transportar gas natural procesado a los mercados. En esta categoría deben incluirse también las emisiones fugitivas de los sistemas de almacenamiento de gas natural.	Volumen de gas natural comercializable			Balance anual de gas natural al 2019: Perupetro. Estadística Petrolera 2019. Ir a página 63 https://www.perupetro.com.pe/wp/wcm/connect/corporativo/f2052159-3e73-4049-bac3-bf2fc0730e45/Estad%C3%ADstica+2019.pdf?MOD=AJPERES&2019 Fecha de acceso: 24/03/2022
1B2biii5 - Distribución	Emisiones fugitivas (excluidas las emanadas por venteo y quema en antorcha) de la distribución de gas natural a los usuarios finales.	Valor de la actividad (unidades de la actividad)	Usos del gas distribuido	10 ⁶ m ³	Distribución del Gas Natural Seco durante 2019 (MMpie ³). Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Eficiencia Energética. Balance Nacional de Energía 2019. Página 165, Tabla 72. http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633 Fecha de acceso: 24/03/2022

6.2.4. Factores de emisión

En las Tablas 25, 26 y 27 se presentan los factores de emisión empleados para estimar las emisiones fugitivas de las categorías: 1B1 - Combustibles Sólidos, 1B2A – Petróleo, 1B2B - Gas natural

Tabla 25. Factor de emisión del metano de la minería subterránea del carbón

Etapas	CH ₄
	FE por defecto (m ³ /t)
Extracción	18,0
Post-extracción	2,45

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág. 4.12

Tabla 26. Factores de emisión de nivel 1 para las emisiones fugitivas (incluidos el venteo y la quema en antorcha) procedentes de las operaciones de petróleo en los países en desarrollo y en los países con economías en transición

Categoría	Subcategoría	Fuente de emisión	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	Unidades de medida
			Valor	Valor	Valor	
Perforación de pozos	Todas	Quema en antorcha y venteo	2,97E-04	9,00E-04	-	Gg / 10 ³ m ³ petróleo producido
Prueba de pozos	Todas	Quema en antorcha y venteo	4,51E-04	7,95E-02	5,84E-07	Gg / 10 ³ m ³ petróleo producido
Servicios a los pozos	Todas	Quema en antorcha y venteo	9,55E-04	1,70E-05	-	Gg / 10 ³ m ³ petróleo producido
Producción de petróleo	Total ponderado por defecto	Fugitivas	1,96E-02	2,49E-03	-	Gg / 10 ³ m ³ petróleo producido

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág.4.55 y 4.60 (cuadro 4.2.5)

Tabla 27. Factores de emisión de nivel 1 para las emisiones fugitivas (incluidos el venteo y la quema en antorcha) procedentes de las operaciones gas natural en los países en desarrollo y en los países con economías en transición

Categoría	Subcategoría	Fuente de emisión	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	Unidades de medida
			Valor	Valor	Valor	
Venteo por transporte		Fugitivas	3,92E-04	5,20E-06	-	Gg / 10 ⁶ m3 de gas comercializable
Quema en antorcha del gas natural		Quema real declarada	1,20E-02	2,00E+00	2,30E-05	Gg / Gg / 106 m3 de gas quemado en antorcha
Producción		Fugitivas	1,20E-02	9,70E-05	0	Gg / 10 ⁶ m3 de producción de gas
Procesamiento del gas	Plantas de gas dulce	Fugitivas	7,90E-04	2,50E-04	0	Gg / 10 ⁶ m3 de carga de gas crudo
		Quema en antorcha	1,40E-06	2,15E-03	2,95E-08	Gg / 10 ⁶ m3 de carga de gas crudo
Transmisión y almacenamiento del gas	Transmisión	Fugitivas	6,33E-04	1,44E-06	-	Gg / 10 ⁶ m ³ de carga de gas crudo
	Almacenamiento	Todas	4,15E-05	1,85E-07	-	Gg / 10 ⁶ m ³ de ventas de servicios
Distribución del gas	Todas	Todas	1,80E-03	9,55E-05	-	Gg / 10 ⁶ m ³ de ventas de servicios

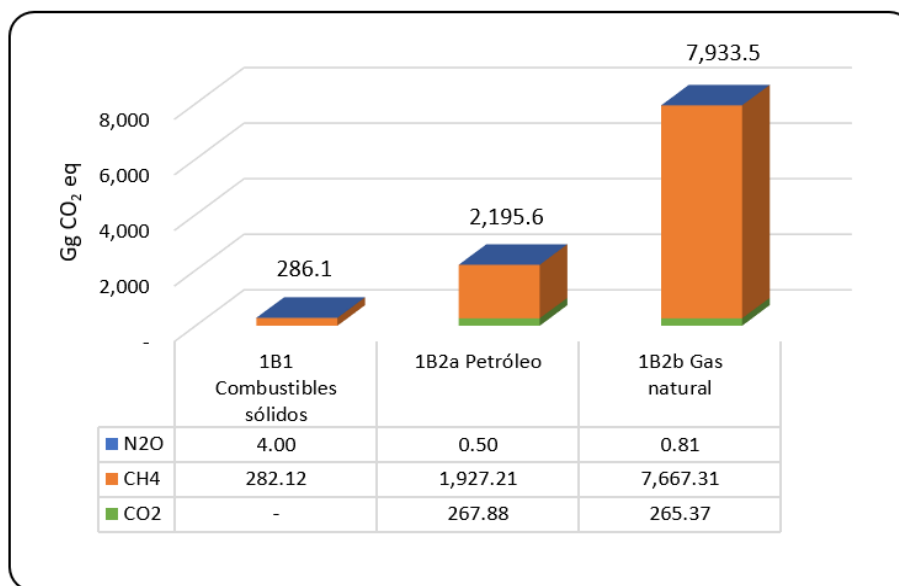
Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 4, Pág.4.55 y 4.60 (cuadro 4.2.5)

6.2.5. Resultados

En conjunto, las emisiones totales de la categoría 1B - Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles, agregan **10,415.20 Gg de CO₂eq**, representando el 27.71% de las emisiones totales de las emisiones reportadas en el presente RAGEI.

En el Gráfico 33 se presentan los resultados de emisiones GEI por cada una de las subcategorías y GEI. Como se observa, las emisiones fugitivas por las actividades de la cadena de gas natural son las que presentan mayores emisiones, aportando el 76.17% de la categoría 1B – Emisiones Fugitivas y el 21.11% de las reportadas en este RAGEI. En segundo lugar, se encuentran las emisiones fugitivas de las actividades de petróleo (21.68% de la categoría y 5.84% del total de emisiones del RAGEI). En el Gráfico 33 también se puede observar que, el GEI que aporta más emisiones es el CH₄, el cual aporta el 94.83% de las emisiones totales de esta categoría.

Gráfico 33. Emisiones fugitivas por la fabricación de combustibles – Categoría 1B

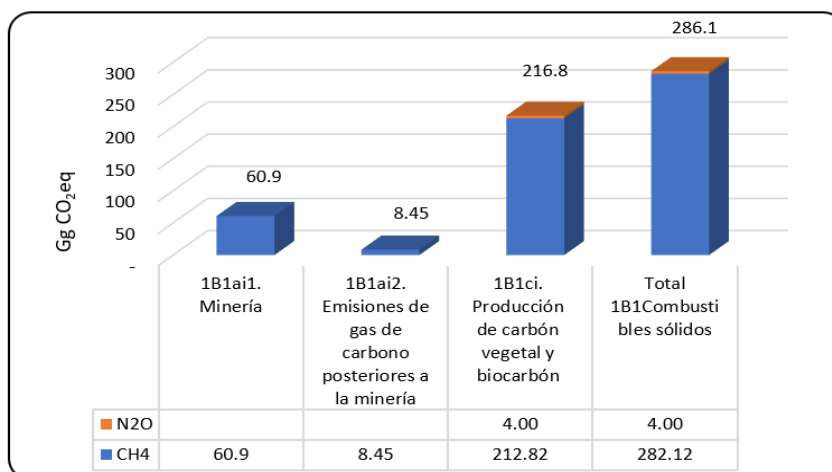


Fuente: DGEE - MINEM

6.2.5.1. Emisiones fugitivas por producción de combustibles sólidos – Subcategoría 1B1.

Para esta subcategoría se consideraron las emisiones que generaron las fuentes: minería subterránea (1B1ai1), minería subterránea post-extracción (1B1ai2) y Producción de carbón vegetal y biocarbón (1B1ci). En su conjunto estas fuentes emitieron 286.12 GgCO₂eq que representa el 2.75% de las emisiones de la categoría y 0.76% de las incluidas en el presente RAGEI. La fuente que más influyó fue la producción de carbón vegetal y biocarbón (75.78% del total de la subcategoría). El metano (CH₄) es el principal GEI generado por emisiones fugitivas en esta categoría, con un aporte del 98.60%

Gráfico 34. Emisiones fugitivas (Gg CO₂eq) por producción de combustibles sólidos – Subcategoría 1B1.



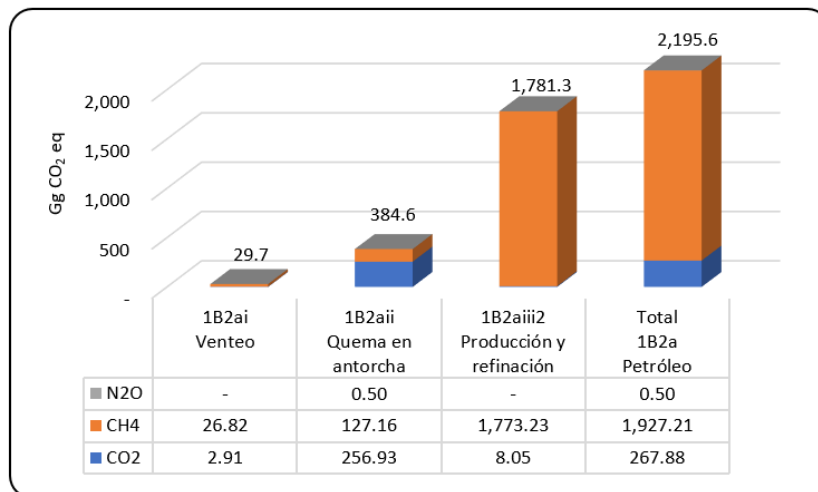
Fuente: DGEE - MINEM

6.2.5.2. Emisiones fugitivas por producción de petróleo – Subcategoría 1B2a.

Para esta subcategoría se consideraron las emisiones que generaron las fuentes: venteo (1B2ai), quema en antorcha (1B2aii) y producción y refinación (1B2aiii2). Estas fuentes en su conjunto emitieron 2,195.59 GgCO₂eq (21,68% del total de emisiones de la categoría). Las principales

emisiones se generan por las actividades de producción y refinación, que aportan el 81.13% de las emisiones fugitivas de petróleo y 17.10% del total de emisiones de la categoría 1B – Emisiones fugitivas. Las emisiones de CH₄ representan el 87.78% de las emisiones totales de esta subcategoría.

Gráfico 35. Emisiones fugitivas (Gg CO₂eq) por producción de petróleo – Subcategoría 1B2a

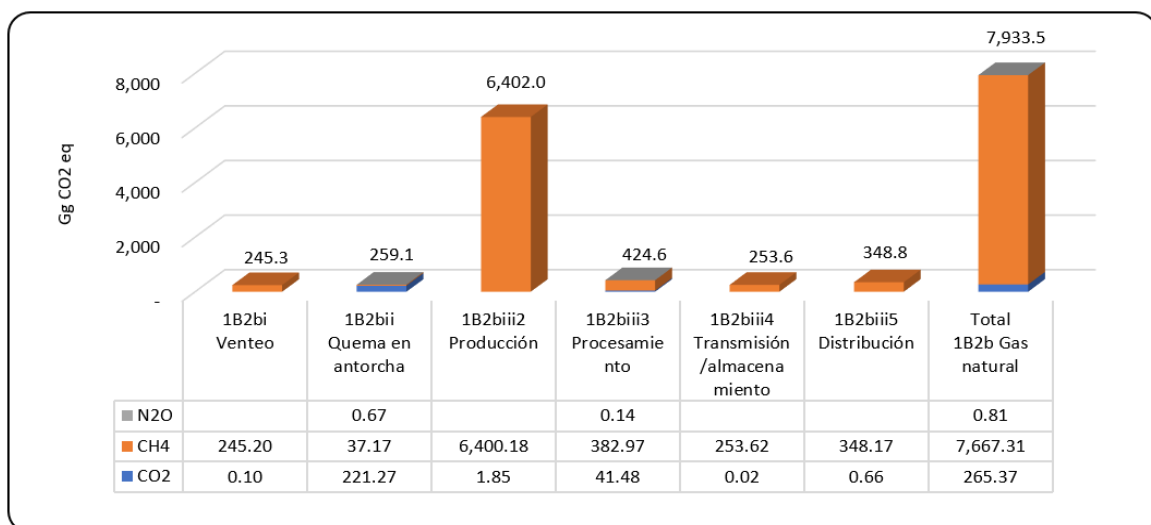


Fuente: DGEE – MINEM

6.2.5.3 Emisiones fugitivas por producción de gas natural – Subcategoría 1B2b.

Para esta subcategoría se consideraron las emisiones que generaron las fuentes: venteo (1B2bi), quema en antorcha (1B2bii), producción (1B2biii2), procesamiento (1B2biii3), transmisión y almacenamiento (1B2biii4) y distribución (1B2biii5). Estas fuentes en su conjunto emitieron 7,933.49 GgCO₂eq, lo que representó el 76.17% de las emisiones de la categoría 1B. Las emisiones de CH₄ representan el 96.64% de los GEI generados por estas fuentes de emisión. Las principales emisiones se generan en la etapa de producción (1B2biii2) con 6,402.18Gg de CO₂eq que representan el 80.70% del total de las emisiones fugitivas generadas en la cadena del gas natural.

Gráfico 36. Emisiones fugitivas (Gg CO₂eq) por producción de gas natural – Subcategoría 1B2b



Fuente: DGEE – MINEM

6.2.6. Sigüientes pasos

La siguiente tabla presenta las acciones de mejora propuestas para la elaboración de futuros RAGEI, en la categoría 1B.

Tabla 28. Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI en base a la revisión del equipo sectorial

	Descripción de la acción de mejora propuesta	Impacto en la estimación de tCO ₂ eq de la serie temporal u otros atributos del RAGEI	Nivel de avance en la implementación	Periodo de implementación ⁴
1	Corroborar el dato de actividad empleado para estimar las emisiones fugitivas de la minería de carbón. Corregir el valor, en caso de que no represente la cantidad de carbón no lavado y recalcular las emisiones. Documentar el criterio de selección del valor de FE de CH ₄ .	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI	No se han iniciado acciones de implementación	Corto plazo
2	Recopilar información necesaria para determinar las emisiones fugitivas por minas subterráneas abandonadas.	Mejora la exactitud y completitud de la estimación de emisiones de GEI	No se han iniciado acciones de implementación	Mediano plazo
3	Revisar la exhaustividad de la estimación y reporte de las emisiones de la subcategoría de Petróleo y gas natural.	Mejora la exactitud y completitud de la estimación de emisiones de GEI	No se han iniciado acciones de implementación	Corto plazo
4	Investigar y documentar la variabilidad de la tendencia de las emisiones fugitivas del gas natural.	Mejora la transparencia de la estimación de emisiones de GEI	No se han iniciado acciones de implementación	Mediano plazo
5	Desarrollar información específica del país que permita implementar un método de estimación de emisiones fugitivas en línea con los árboles de decisión de las directrices del IPCC de 2006.	Mejora la exactitud de la estimación de emisiones de GEI	No se han iniciado acciones de implementación	Mediano plazo

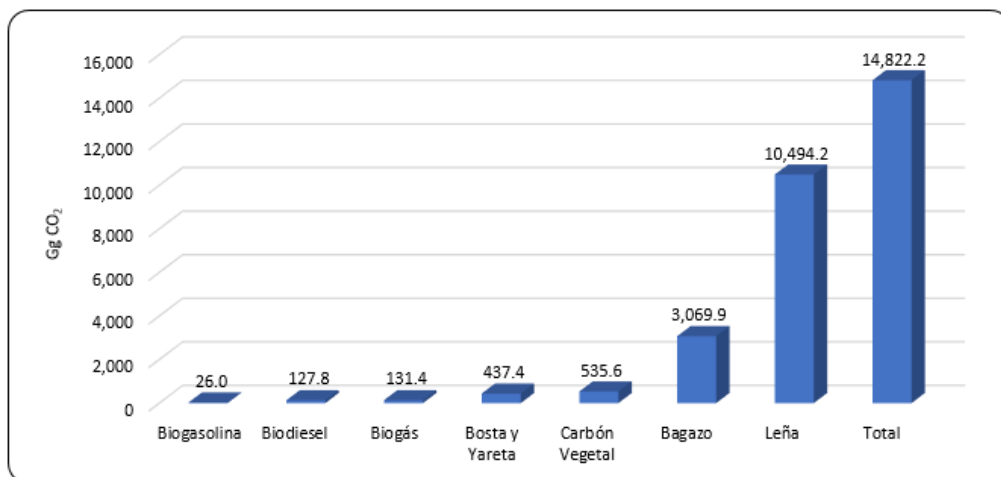
⁴ Es recomendable que las entidades realicen un plan de trabajo interno más detallado, y que luego de ser validado se inserte en el siguiente RAGEI.

7. EMISIONES INFORMATIVAS

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, las emisiones de CO₂ de la quema de biomasa no deben ser consideradas en los totales nacionales, sino que deben reportarse como emisiones informativas. En este sentido, se excluyeron dichas emisiones de los resultados descritos en las secciones anteriores, en donde para los combustibles de biomasa, solo se tienen en cuenta las emisiones de CH₄ y N₂O. Es importante mencionar que para el caso del biodiesel y la biogasolina (etanol), se separó el componente de biomasa de acuerdo con el porcentaje de mezcla y, la parte correspondiente a las emisiones de CO₂ de esta biomasa se reporta como emisiones informativas, mientras que las emisiones correspondientes al carbono fósil de estos combustibles se reportaron en las respectivas secciones de resultados descritas en las secciones anteriores de este RAGEI.

En el año 2019, las emisiones de GEI generadas por la combustión de la biomasa con fines energéticos o emisiones informativas fueron de 14,822.23 GgCO₂. En el Gráfico 37 se presentan los resultados obtenidos según tipo de combustible y en el Gráfico 38, por categoría y tipo de biomasa que emplea cada una.

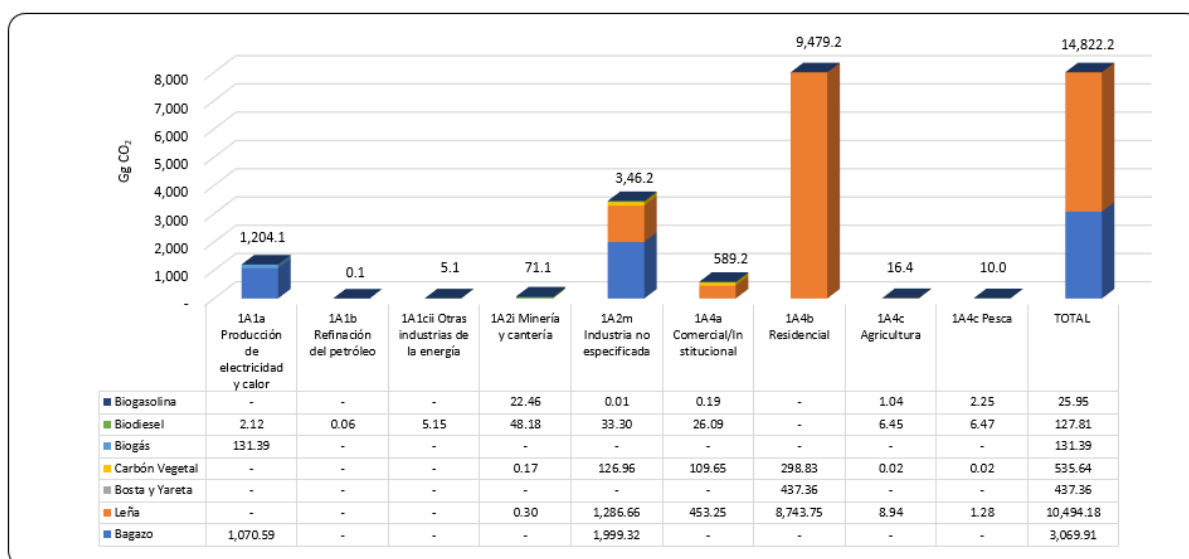
Gráfico 37. Emisiones informativas de CO₂ por quema de biomasa, por combustible



Fuente: DGEE – MINEM

Como se observa, estas emisiones se han generado principalmente por la quema de leña y bagazo, los cuales en conjunto aportan el 91.51% de las emisiones informativas. Las emisiones por uso de carbón vegetal y bosta y yareta representan el 3.61% y 2.95% respectivamente.

Gráfico 38. Emisiones informativas de CO₂ por quema de biomasa, por categoría y combustible



Fuente: DGEE – MINEM

Respecto a las emisiones por categoría, se observa que los sectores: residencial (1A4b), industrial (1A2m), producción de calor y energía c(1A1a) y comercial y público (1A4a), son los que más emplean combustibles de biomasa para sus actividades y, las emisiones de CO₂ derivadas de estos, representan en conjunto un 99.31% del total de las emisiones informativas. Como se puede observar en el Gráfico 38, en los sectores residencial y comercial la leña es la principal biomasa empleada, mientras que en los otros dos sectores es el bagazo.

8. METODO DE REFERENCIA

Las Directrices del IPCC de 2006 recomienda desarrollar, para el sector energía, un método adicional de cálculo de las emisiones de GEI para fines comparativos con los cálculos realizados según el método sectorial. Este se denomina el método de referencia, el cual tiene un enfoque top-down que consiste en el cálculo de las emisiones de GEI de la categoría de actividades de quema de combustibles (1A) a través de un balance de los combustibles que se consumen en el país (considerando la producción, importación y exportación), así como el carbono excluido y oxidado.

8.1. Metodología

En base a las indicaciones que da las Directrices del IPCC de 2006 en su volumen 2, capítulo 6 (Método de referencia) se procedieron a realizar los cálculos respectivos para el año 2019. La metodología del método de referencia divide el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono, procedente de la quema de combustibles, en 5 pasos:

- Paso 1: Estimar el consumo aparente de combustible en unidades originales
- Paso 2: Convertirlo en una unidad común de energía
- Paso 3: Multiplicarlo por el contenido de carbono para computar el carbono total
- Paso 4: Computar el carbono excluido
- Paso 5: Corregir el carbono sin oxidar y convertir en emisiones de CO₂

Se expresan estos pasos en la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustible a través del método de referencia

$$\text{Emisiones CO}_2 = \sum \left[\left((\text{Consumo aparente}_{\text{combustible}} \bullet \text{Factor conv}_{\text{combustible}} \bullet \text{CC}_{\text{combustible}}) \bullet 10^{-3} - \text{Carbono excluido}_{\text{combustible}} \bullet \text{FOC}_{\text{combustible}} \bullet 44/12 \right) \right]$$

Fuente: GL2006, página 6.5

Dónde:

- Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ (Gg CO₂)
- Consumo aparente = producción + importaciones – exportaciones – tanques de combustible internacionales – cambio en las existencias
- Factor conv = factor de conversión para el combustible en unidades de energía (TJ) sobre una base de valor calórico neto
- CC = contenido de carbono (tonelada de C/TJ)
- Carbono excluido = carbono en la alimentación a procesos y uso no energético excluido del combustible
- FOC (factor de oxidación del carbono) = fracción de carbono que se oxida, normalmente el valor es 1, lo que refleja la oxidación completa. Se usan los valores inferiores únicamente para justificar el carbono que queda retenido en forma indefinida en la ceniza o en el hollín
- 44/12 = relación del peso molecular del CO₂ al C.

Para poder calcular el consumo aparente de los combustibles es necesario contar con la siguiente información:

- Las cantidades de combustibles primarios producidos (no se incluye la producción de combustibles secundarios ni los productos del combustible);
- Las cantidades de combustibles primarios y secundarios importados;

- Las cantidades de combustibles primarios y secundarios exportados;
- Las cantidades de combustibles primarios y secundarios usados en los tanques internacionales;
- Los incrementos o las reducciones netos de las existencias de combustibles primarios y secundarios.

Con esta información se procede a ejecutar la siguiente ecuación en el caso de los combustibles primarios.

Ecuación 8: Consumo aparente de combustible primario

$$\text{Consumo aparente}_{\text{combustible}} = \text{Prod.}_{\text{combustible}} + \text{Imp.}_{\text{combustible}} - \text{Exp.}_{\text{combustible}} - \text{Tanques internacionales}_{\text{combustible}} - \text{Cambio en las existencias}_{\text{combustible}}$$

Fuente: GL2006, capítulo 6, página 6.6

Para estimar el consumo aparente de los combustibles secundarios se usa una ecuación similar a la de los combustibles primarios, la única diferencia y con toda lógica es que en esta no se incluye a la producción de los combustibles primarios.

Ecuación 9: Consumo aparente de combustible secundario

$$\text{Consumo aparente}_{\text{combustible}} = \text{Imp.}_{\text{combustible}} - \text{Exp.}_{\text{combustible}} - \text{Tanques internacionales}_{\text{combustible}} - \text{Cambio en las existencias}_{\text{combustible}}$$

Fuente: GL2006, capítulo 6, página 6.7

Es importante mencionar que no se dispuso de información para cambio en las existencias y carbono excluido (el cual incluye los productos descritos en la Tabla 29), motivo por el que se trabajó solo con datos de producción, importación, exportación y consumo de combustibles en bunkers.

Tabla 29. Productos usados como alimentación a procesos, reductores y para fines no energéticos

Alimentación a proceso	Nafta
	GLP (Propano/butano)
	Gas de refinería
	Gas / diésel y kerosene
	Gas natural
	Etano
Reductor	Coque para horno de coque (coque metalúrgico) y coque de petróleo
	Carbón y alquitrán de hulla / brea de alquitrán de hulla
	Gas natural
Productos no energéticos	Alquitrán
	Lubricantes
	Ceras de parafina
	Espíritu blanco

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Cap. 6, Cuadro 6.1

Tal como indica el IPCC, primero se hizo un inventario, según información del último Balance Nacional de Energía, de la producción de los combustibles primarios además de la importación, exportación de combustibles primarios y secundarios y el consumo de combustibles en bunkers. Una vez con el balance de los combustibles, estos son llevados a unidades de energía (TJ) obteniéndose así el consumo aparente.

El consumo aparente posteriormente es llevado a unidades de carbono (según los valores por defecto del contenido de carbono en combustibles que propone el IPCC en su volumen 2, capítulo 1) y posteriormente a unidades de dióxido de carbono (CO₂), usando la respectiva relación molar (44/12). Habiéndose realizado esto se estimó la cantidad de emisiones de CO₂ generadas según el método y se comparó con los resultados obtenidos según el método sectorial.

8.2. Análisis comparativo entre el Método de Referencia y el Método por Sectores

Aplicándose la metodología descrita en la sección anterior, se estimaron las emisiones de CO₂ generadas según el método de referencia y se compararon los resultados obtenidos con los del método por sectores. Es preciso señalar, que para estimar las emisiones del método sectorial se ha requerido de información de las emisiones del sector energía – Combustión Móvil estimado por el MTC.

Tabla 30. Comparación de emisiones de GEI entre métodos del IPCC

Método		Quema de combustible	Total
Método Sectorial	Sector Energía – Combustión Estacionaria	26.181	51,240
	Sector Energía – Combustión Móvil	25.058	
Método de Referencia		51.846	51,846
Variación porcentual (%)		1,2%	

Fuente: DGEE – MINEM

La diferencia encontrada resultó en 1,2%, la cual es inferior al $\pm 5\%$ tal como se señala en el IPCC. Los principales motivos identificados son:

- Existe data del consumo de combustible utilizado en las empresas de generación de electricidad denominados “no informantes” que han sido excluidos como parte de la estimación de emisiones en el RAGEI.
- Los factores de conversión utilizados en el balance de energía y los RAGEI no son los mismos. El BNE utiliza valores por defecto proporcionados por OLADE y en el RAGEI se han estimado algunos valores nacionales.

9. ANEXOS

Anexo 1: Datos del responsable y colaboradores del RAGEI

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Juan Orlando Cossio Williams
Cargo	Director General de Eficiencia Energética (e)
Correo Electrónico	JCOSSIOW@minem.gob.pe
Teléfono - Anexo	4111100 anexo 2600
Dirección de Línea	Dirección General de Eficiencia Energética
Institución	Ministerio de Energía y Minas

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Giannina Milagros Ibarra Vásquez
Cargo	Especialista en Planeamiento Energético - Ambiental
Correo Electrónico	gibarra@minem.gob.pe
Teléfono - Anexo	4111100 anexo 2605
Dirección de Línea	Dirección General de Eficiencia Energética
Institución	Ministerio de Energía y Minas

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Claudia Espinoza Zegarra
Cargo	Coordinadora de Eficiencia Energética
Correo Electrónico	CLESPINOZA@minem.gob.pe
Teléfono - Anexo	4111100 anexo 2617
Dirección de Línea	Dirección General de Eficiencia Energética
Institución	Ministerio de Energía y Minas

Anexo 2: Recomendaciones de mejora para el RAGEI 2019

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
1	Método de Referencia	<u>Observación:</u> Para el método de referencia (MR) se emplearon los datos provenientes del balance nacional de energía (BNE). El BNE reporta el uso no energético de combustibles de manera integrada, sin desagregar por tipo de combustible de modo que Perú no incluyó en el MR la estimación de carbono excluido. En las planillas excel de los inventarios 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 y 2019, solo se incluyeron los cálculos del MR para los dos últimos inventarios. La diferencia en las emisiones de CO₂ entre el método sectorial (MS) y el MR, expresadas como $(MR-MS) \times 100 / MS$ fueron -1.1% en 2018 y +1.2% en 2019. La información que se reporta en los balances de energía es la recopilada mediante la solicitud de información a las diferentes instituciones y/o información pública disponible. En las planillas excel del MR se incluye una comparación entre los consumos de combustible del inventario y el balance energético nacional. Sin embargo, esta comparación parece ser una verificación para el equipo de compilación y no estar destinada a alguien ajeno al proceso de compilación ya que está presentada de manera poco transparente, no incluye trazabilidad de los datos ni unidades en las que están expresados. Por otra parte, se observan notorias diferencias para algunos combustibles, por ejemplo, para 2019, el consumo de gas natural del BNE fue 13% inferior que el reportado en el inventario. El comentario con respecto a esta diferencia indica que: DGE actualizó información respecto a lo entregado para el BNE2019 (Pluspetrol) / 2. La diferencia se debe al valor de factor de conversión utilizado. Este comentario puede ser significativo al interior del equipo de compilación, pero es muy difícil de interpretar para alguien ajeno al mismo. Además, si la diferencia del consumo de gas natural tiene esa magnitud, sería interesante conocer a qué se debe que la diferencia en emisiones de CO₂ haya sido del 1.2%. La metodología se aplicó parcialmente. El RAGEI indica el motivo por el cual no se realizó el cálculo de carbono excluido: "es importante mencionar que no se dispuso de información para cambio en las existencias y carbono excluido motivo por el que se trabajó solo con datos de producción, importación, exportación y consumo de combustibles en bunkers". La falta de información desagregada sobre el uso de combustibles como alimentación a procesos, reductores y para fines no energéticos, si bien importante para una implementación completa del MR, es más relevante para el desarrollo del MS y para el sector PIUP. En última instancia, el fin último del MR es la verificación de la estimación de las emisiones de CO₂ del MS, en cambio las emisiones estimadas por el MS que se comparan integran únicamente el total nacional. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Incluir en el capítulo 8 del RAGEI (Método de Referencia) una tabla con los consumos de los combustibles fósiles por tipo (sólido, líquido y gaseoso) empleados en el MR y el MS y mejorar la explicación acerca de las diferencias de estos consumos. Por ejemplo, cuando se habla de diferencia de factores de conversión, referir explícitamente a los valores que se mencionan, así como las razones de las diferencias. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Incluir el desarrollo del MR para la serie completa de inventarios reportados. Mejorar la exhaustividad del MR progresivamente recopilando información a nivel de las plantas más importantes productoras y consumidoras de combustibles con fines tanto energéticos como no energéticos (ej. solicitar información a la empresa SESUVECA con la finalidad de conocer si tienen producción local o están importando el coque metalúrgico, solicitar un nivel de desagregación que corresponda al máximo con las subcategorías de la combustión estacionaria, etc). En el caso de que se produzca coque metalúrgico en Perú, las correspondientes emisiones asociadas con la quema de combustibles para su producción de deberán estimar y reportar en la subcategoría fabricación de combustibles sólidos (1.A.2.c. i). <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Colectar información sobre el uso de combustibles como alimentación a procesos, reductores y para fines no energéticos para realizar la estimación de carbono excluido. Asimismo, en el marco de las MPGs, Perú podría solicitar apoyo al desarrollo de capacidades para lograr una mejor adecuación del BNE y/o del MR a los fines de la compilación del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
2	1A Actividades de quema del combustible	<u>Observación:</u> Para el análisis de categorías principales no se empleó el nivel de desagregación sugerido en la Tabla 4.1, cap. 4, vol., 1 de las directrices del IPCC de 2006. Específicamente no se realizó la desagregación por tipo de combustible para las categorías 1A1, 1A2 y 1A4 mientras que se desagregó la categoría 1A1, según las subcategorías que la componen. Si bien la selección del nivel de desagregación adoptado para el análisis de categorías principales es privativa del país, el RAGEI no indica la motivación para seleccionar el nivel de desagregación utilizado. La principal consecuencia de no haber desagregado por tipo de combustible (líquido, sólido y gaseoso) es que las categorías principales identificadas para las categorías 1A1, 1A2 y 1A4 comprenden las emisiones de CO₂ de todos los combustibles cuando es probable que para muchas de ellas la categoría principal corresponda solo al gas natural. Esto implica que para estar en línea con los árboles de decisión de las directrices del IPCC de 2006, deben emplearse métodos de nivel 2 o nivel 3 para estimar las emisiones de las categorías principales. Perú solo ha estimado un factor de emisión de CO₂ específico del país para el gas natural. Para estimar las emisiones de CO₂ de los restantes combustibles ha empleado un método de nivel 1 que no está en línea con las directrices del IPCC de 2006. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Incluir un comentario en el RAGEI acerca del criterio empleado para la desagregación empleada para el análisis de categorías principales. Incluir un comentario acerca de la imposibilidad de Perú para emplear metodologías de nivel superior para estimar las emisiones de CO₂ para combustibles líquidos y sólidos que, del análisis realizado por el país, fueron identificadas como categorías principales. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Realizar (i) un análisis de categorías principales empleando el nivel de desagregación sugerido en la Tabla 4.1, cap. 4, vol., 1 de las directrices del IPCC de 2006 y (ii) una evaluación comparativa de los resultados con los obtenidos con la desagregación empleada por el país. Tomar una decisión acerca del nivel de desagregación más conveniente. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Estimar las emisiones de CO₂ en línea con los árboles de decisión de las directrices del IPCC de 2006. Esto implica emplear metodologías de nivel superior para las categorías identificadas como principales. En caso de que Perú utilice un método de nivel 1 para estimar emisiones de una categoría principal, se recomienda que el RAGEI documente claramente por qué la elección metodológica no se ajustó al correspondiente árbol de decisión de las directrices del IPCC. Se recomienda además que Perú dé prioridad para futuras mejoras a las categorías principales.
3		<u>Observación:</u> El RAGEI indica que "los factores de conversión utilizados en el balance de energía (BNE) y los RAGEI no son los mismos. El BNE utiliza valores por defecto proporcionados por OLADE y en el RAGEI se han estimado algunos valores nacionales" (p.67). El RAGEI no indica cómo se ha hecho la reconciliación de datos cuando se utilizan varias fuentes de datos de actividad (DA) para los que se emplean distintos factores de conversión. Si bien en el RAGEI hay indicaciones que se han comparado los resultados de los DA cuando se emplean varias fuentes, estos resultados no han sido reportados de manera transparente. Adicionalmente al análisis y reporte de los resultados de la evaluación comparativa, resulta crucial reconciliar los datos de manera de asegurar que los DA y las correspondientes emisiones no estén subestimados o sobreestimados. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Reconciliar los DA cuando se emplean dos o más fuentes de datos para una categoría o subcategoría. Incluir en el RAGEI, tal vez en un Anexo, una lista completa y clara de los factores de conversión utilizados, así como del proceso de reconciliación efectuado de manera a documentar y asegurar la exactitud de la estimación de las emisiones.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
4		<u>Observación:</u> Perú ha estimado los valores específicos nacionales para el contenido de carbono y el valor calórico neto (VCN) del gas natural. Estas propiedades físicas se estimaron principalmente sobre la base de la información provista por la empresa Pluspetrol para 2019. El VCN específico del país resultó 45,76 TJ/Gg (Tabla 20, p. 46). Tal como indica el RAGEI este valor está fuera del correspondiente rango indicado en las directrices del IPCC de 2006 (46,5 – 50,5 TJ/Gg) y es 1,6% menor al valor inferior. Este dato está basado en el valor promedio para el VCN reportado por Pluspetrol igual a 35,84 MJ/m³ (Anexo 3, p.71) y el valor de la densidad del gas natural (7,88 10⁻⁷ Gg/m³), calculado a partir de datos de Calidda (Tabla 21, p. 47). El equipo de revisión experta (ERE) observa que el VCN específico estimado se encuentra en el rango de VCNs del butano (45,3 TJ/Gg) y del propano (46,4 TJ/Gg) mientras que, por la composición molar del gas natural empleado en el país, se esperaría que se encontrase entre los VCNs del etano (47,8 TJ/Gg) y del metano (50 TJ/Gg). Como este VCN relativamente menor se empleó para convertir de m³ a TJ, la consecuencia es que los valores de los datos de actividad del gas natural pueden estar subestimados. El país no presenta de forma transparente las razones por las que utilizan datos de dos fuentes distintas (Pluspetrol y Calidda) para evaluar el VCN y porqué esta estimación no se basó en la composición promedio del gas natural empleada para estimar el contenido de carbono específico del país. Empleando esta composición y los respectivos datos de entalpía o calor de combustión de metano, etano, propano, butano, etc, se podría haber estimado un VCN consistente con el contenido de carbono calculado. Perú utiliza los factores de emisión (FE) por defecto de las directrices de 2006 del IPCC para todos los combustibles y todos los GEI, excepto para el FE de CO₂ del gas natural que es específico del país. Este FE se desarrolló sobre la base de la composición del gas natural suministrada por la empresa Pluspetrol. Los datos de base y la metodología empleada se reportan de manera transparente y completa en el Anexo 3 del RAGEI (Combustión Estacionaria y Emisiones Fugitivas). <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Convendría revisar el valor de VCN y recalcular la serie de datos de actividad del gas natural y las correspondientes emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O. Sin embargo, el ERE reconoce que tal vez Perú no cuente con suficiente tiempo para abordar esta tarea antes de la presentación del BUR3. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Revisar la estimación del VCN del gas natural y recalcular los datos de actividad de gas natural y las correspondientes emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O para toda la serie de inventarios desarrollados.
5	1A1a Actividad principal producción de electricidad y calor	<u>Observación:</u> Para la asignación de actividades en las subcategorías generación de electricidad (1A1ai) y generación combinada de calor y energía o cogeneración (1A1a(ii)), el RAGEI indica que se realizó una identificación y clasificación de las empresas que operan plantas de cogeneración (Tabla 16, p. 42). Ciertas empresas asignadas a la subcategoría 1A1a(ii), por ejemplo, ENGIE Energía Perú S.A., Fénix Power Perú S.A. y Kallpa Generación S.A., parecen generar exclusivamente electricidad y no parecen generar energía térmica útil para otros fines distintos a la generación termoeléctrica convencional. Asimismo, podrían haberse incluido autoproduktores en la subcategoría 1A1ai (por ejemplo, Agroaurora S.A.C. y Agroindustrias San Jacinto S.A.A.). El RAGEI no indica cuáles fueron los criterios específicos utilizados para asignar las actividades en las subcategorías 1A1ai y 1A1a(ii). <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Esta asignación de actividades en una u otra subcategoría 1A1ai o 1A1a(ii) no afecta las emisiones totales, solo la comparabilidad, de modo que no es necesaria una acción urgente al respecto. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Documentar los criterios para asignar actividades a las subcategorías 1A1ai o 1A1a(ii). Verificar que no se incluyan autoproduktores en ninguna de ellas.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
6	1A2 Industrias manufactura y de la construcción	<u>Observación:</u> Por carecer en el BNE de una adecuada desagregación por subcategoría, el consumo de combustibles por parte de las industrias manufactureras y de la construcción se reporta en la subcategoría 1A2m (industria no especificada), con la única excepción de las emisiones de la subcategoría 1A2i (minería, con excepción de combustibles, y cantería) (Tabla 16, p. 43). Los datos de actividad, con excepción del consumo de combustible de los autoprodutores de electricidad, se extraen del BNE mientras que el consumo de combustibles por parte de los autoprodutores se extrae del Anuario Estadístico de electricidad. Perú ha podido desagregar los consumos por parte de los autoprodutores por tipo de industria, sin embargo, optó por reportarlo de manera integrada en la subcategoría 1A2m junto con los datos de consumo de combustible reportados de manera agregada en el BNE. La descripción de la metodología no indica las razones por las cuales no se reportaron de manera desagregada las emisiones de los autoprodutores en las correspondientes subcategorías de la categoría 1A2. Tampoco se describen los controles realizados para evitar la doble contabilidad y asegurar que los datos de consumo por parte de la industria en el BNE no incluyan el consumo de los autoprodutores. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Asegurar que no haya doble contabilidad. Es decir que las emisiones de los autoprodutores no estén contadas dos veces. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Reportar al menos las emisiones de los autoprodutores en las correspondientes subcategorías y reportar solo en la subcategoría 1A2m las emisiones que no pudieron ser desagregadas. Teniendo en cuenta además que el ministerio de transporte y comunicaciones (MTC) tiene planeado evaluar el uso de la Herramienta HEMAQ para estimar las emisiones de la maquinaria móvil no de carretera de las actividades de minería, construcción, agricultura, industria y forestal, se recomienda que, en el caso de que se estimen las emisiones del transporte todo terreno en actividades industriales, estas emisiones se deberán reportar en las subcategorías correspondientes de 1A2 o en su defecto de manera integrada en 1A2m. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Reportar las emisiones de la categoría 1A2 en las correspondientes subcategorías.
7	1A2a Hierro y acero	<u>Observación:</u> Los datos de actividad y emisiones se incluyen agregados en la subcategoría 1A2m. Como el BNE reporta de manera integrada tanto el consumo de combustible en industria como el uso no energético de combustible, es posible que las emisiones correspondientes al uso de combustible como reductor hayan sido reportadas en el sector energía en lugar del sector PIUP por lo que es probable es que se hayan incluido emisiones del sector PIUP en la subcategoría 1A2m. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Reportar al menos las emisiones de los autoprodutores en las correspondientes subcategorías y reportar solo en la subcategoría 1A2m las emisiones que no pudieron ser desagregadas. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Desarrollar un balance de carbono para las acerías integradas para lograr una estimación transparente, precisa y comparable de las emisiones de esta subcategoría y reportar las correspondientes emisiones en el sector energía (combustión) y en el sector PIUP (agente reductor).

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
8	1A2b Metales no ferrosos	<u>Observación:</u> Los datos de actividad y las emisiones se incluyen agregadas en la subcategoría 1A2m. Teniendo en cuenta que Perú produce Pb, Zn y tal vez Mg, es probable que, dependiendo del proceso de producción, se utilicen combustibles como agentes reductores por lo que es probable es que se hayan incluido emisiones del sector PIUP en la subcategoría 1A2m. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Identificar el uso de combustibles fósiles como posibles agentes reductores en la fabricación de Pb, Zn y tal vez Mg y reportar las correspondientes emisiones en el sector energía (combustión) y en el sector PIUP (agente reductor).
9	1A2c Sustancias químicas	<u>Observación:</u> Los datos de actividad y las emisiones se incluyen agregados en la subcategoría 1A2m. Teniendo en cuenta que dependiendo de la sustancia química y de su proceso de producción, se utilicen combustibles como materias primas, podría ser posible que se hayan incluido emisiones del sector PIUP en la subcategoría 1A2m. Aunque Perú reporta en el sector PIUP que las sustancias químicas que se producen en Perú no requieren el uso de combustibles como materia prima, los procesos de producción deberían documentarse en el sector PIUP. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Verificar que las tecnologías de producción de la industria química peruana no utilizan combustibles como materia prima. En el caso de que efectivamente ninguna de las sustancias químicas elaboradas en Perú requiera de combustibles como materia prima, no es necesaria acción alguna. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Verificar que efectivamente no existan sustancias químicas que requieran combustibles como materias primas. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Verificar que efectivamente no existan sustancias químicas que requieran combustibles como materias primas ya que en el largo plazo pueden elaborarse otras sustancias que no se producen en el presente.
10	1B1ai Minas subterráneas	<u>Observación:</u> Como DA, el RAGEI reporta una producción nacional de carbón de 181 022.6 t, distribuidas según los siguientes tipos: antracita (111 614.3 t), bituminoso (69 395.4 t), grafitico (13.0 t) (hoja <IB 1B1a>). La fuente de información es el ANUARIO MINERO - REPORTE ESTADÍSTICO. Sobre la base de los VCN por defecto de las directrices del IPCC de 2006, el ERE observa que estas cantidades de carbón son equivalentes a 4774.17 TJ, correspondientes a: antracita (2 980.10 TJ), bituminoso (1790.40 TJ), grafitico (3.67 TJ). Perú toma el valor medio de los FE por defecto de CH₄ de las directrices del IPCC de 2006. La selección del valor medio para el FE no está explicada. Si bien el RAGEI, al citar la metodología del IPCC (p. 56), indica que el DA corresponde a la cantidad de carbón no lavado, el ERE opina que el valor del DA empleado (181 022.6 t, equivalente a 4 774.17 TJ) correspondería a la cantidad de carbón comercializado ya que es inferior al valor empleado para la producción en el método de referencia (4 992 TJ). <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Corroborar el DA empleado para estimar las emisiones fugitivas de la minería de carbón. Corregir el valor, en caso de que no represente la cantidad de carbón no lavado y recalcular las emisiones. Documentar el criterio de selección del valor de FE de CH₄.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
	1B1ai Minas subterráneas	<u>Observación:</u> Perú no estima las emisiones provenientes de las minas de carbón abandonadas. En 2003 se sancionó la ley 28090 que regula el cierre de minas y en 2005 se dictó el decreto supremo N° 033-2005-EM que reglamenta dicha ley. Este decreto fue posteriormente enmendado por una serie de nuevos decretos y la ley 28090 fue recientemente modificada por la ley 31347. Teniendo en cuenta este marco legal, es probable que existan minas de carbón subterráneas cerradas. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Investigar la existencia de minas de carbón subterráneas abandonadas y en el caso de que existan, recopilar la información necesaria para estimar y reportar las emisiones correspondientes.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
	1B2a Petróleo	<u>Observación:</u> Las emisiones de las subcategorías 1B2ai (venteo) y 1B2aii (quema por antorcha) se estiman y reportan de manera combinada y solo tienen en cuenta las correspondientes emisiones de las actividades de (i) perforación de pozos, (ii) prueba de pozos y (iii) servicios a los pozos (Tabla 26, p. 59 y hoja <GEI -1B2>). Las emisiones fugitivas (distintas al venteo y a la quema por antorcha) se estimaron sobre la base del total ponderado por defecto de la producción de petróleo empleando los factores de emisión del cuadro 4.2.5 de las directrices del IPCC de 2006 y se reportaron en la subcategoría 1B2aii2 (producción y refinación). El DA es el volumen de petróleo producido (Fuente: Perupetro. Estadística Petrolera 2019). Perú utiliza los FE por defecto de las directrices del IPCC de 2006 (cuadro 4.2.5). El cuadro 4.2.5 de las directrices del IPCC de 2006 empleado por Perú para seleccionar los factores de emisión para estimar las emisiones fugitivas contiene en la mayoría de los casos un rango de valores para cada factor de emisión. Perú adoptó el promedio del valor mínimo y el valor máximo como factor de emisión. El RAGEI no indica la motivación de haber adoptado el valor promedio y no otro valor “central” por ejemplo, la media geométrica, como valor representativo del factor de emisión. EL RAGEI indica las subcategorías para las cuales se estimaron las emisiones y los factores de emisión empleados. El RAGEI no indica las razones por las cuales las únicas emisiones por venteo y quema por antorcha son aquellas asociadas con actividades en los pozos de petróleo cuando en la industria del petróleo, existen otras emisiones originadas por estas dos actividades. Asimismo, Perú estima emisiones fugitivas solo para la subcategoría 1B2aii2 (producción y refinación) cuando hay otras actividades en la industria que generan emisiones fugitivas. Perú no estimó las siguientes emisiones para las cuales el cuadro 4.2.5 de las directrices del IPCC de 2006 proporciona factores de emisión por defecto: (i) subcategoría transporte (1B2aii3) para el caso del transporte de petróleo por oleoductos (CH₄ y CO₂) y para el transporte de GLP (CO₂); venteo asociado con el transporte de petróleo por camiones cisterna y vagones cisterna. Asimismo, teniendo en cuenta que este cuadro contiene FE para estimar por separado las emisiones correspondientes al venteo (1B2ai) y a la quema por antorcha (1B2aii) del total ponderado por defecto de la producción de petróleo que cubren las actividades de producción y refinación, Perú no justificó las razones para no utilizar esta información para estimar las correspondientes emisiones ni tampoco si considera que las emisiones quedan cubiertas por la estimación de venteo y quema por antorcha de las emisiones asociadas con los pozos de petróleo. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Mejorar la transparencia indicando las actividades que se tienen en cuenta bajo esta categoría (por ejemplo, indicando que medio de transporte de petróleo se utiliza y cuáles son las razones de no estimar emisiones en todas las actividades). <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Revisar la exhaustividad de la estimación y reporte de las emisiones de la subcategoría 1B2a. Perú tal vez desee considerar el uso del Refinamiento 2019 de las directrices del IPCC de 2006, cuya reorganización y actualización de datos puede ser de gran utilidad para mejorar la exhaustividad y transparencia de la estimación y reporte de estas emisiones. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Asegurar que las emisiones de esta subcategoría han sido estimadas y reportadas de manera exhaustiva y que el reporte de la metodología empleada, las actividades cubiertas y los datos utilizados sea transparente.

N°	Categoría involucrada	Observaciones y recomendación del proceso de garantía de la calidad (GAUSS, 2023)
	1B2b Gas natural	<u>Observación:</u> Si bien las emisiones fugitivas de CH₄ provenientes del petróleo (categoría 1B2a) y las emisiones fugitivas de CO₂ y CH₄ provenientes del gas natural (categoría 1B2b) fueron identificadas como categorías principales, Perú ha estimado estas emisiones mediante un método de nivel 1. Asimismo, el RAGEI reporta una notable variabilidad de los volúmenes de gas natural (i) quemado en antorcha (cuadro 10, p. 12), (ii) venteado (cuadro 10, p. 12) y (iii) reinyectado (cuadro 11, p. 13) que no se relacionan entre sí ni tampoco con la producción de gas natural (cuadro 9, p. 11) pero no proporciona ninguna explicación sobre las causas que motivan las distintas variabilidades observadas. <u>Recomendación de acciones urgentes:</u> Investigar y documentar la variabilidad de la tendencia de las emisiones fugitivas del gas natural. <u>Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario:</u> Adquirir/desarrollar información específica del país que permita implementar un método de estimación de emisiones fugitivas en línea con los árboles de decisión de las directrices del IPCC de 2006. <u>Recomendaciones a largo plazo:</u> Perú podría solicitar apoyo al desarrollo de capacidades en el marco de las MPGs.

Anexo 3: Metodología para estimar las emisiones de gases precursores de GEI

En el presente RAGEI se han estimado las emisiones de los gases precursores del ozono, citados en el Volumen 1: Orientación general y generación de informes de las Directrices del IPCC de 2006. Estos gases son;

- Monóxido de Carbono (CO),
- Óxidos de nitrógeno (NOx),
- Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), y
- Dióxido de azufre (SO₂)

El método de cálculo seguido es el mismo que se sigue para las fuentes que emiten GEI por quema de combustibles, en el que se multiplica el nivel de actividad por su respectivo factor de emisión.

$$E_p = NA \times FE$$

Dónde:

- E_p : Emisión de gases precursores (CO, NOx, COVDM o SO₂)
 NA: Nivel de actividad (cantidad de combustible quemado)
 FE: Factor de emisión (generada por cantidad asociada de combustible)

Los niveles de actividad son los mismos que se utilizaron para calcular las emisiones de GEI y los factores de emisión se obtuvieron de: “Guía técnica para la preparación de inventarios nacionales de emisiones - EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook”, versión 2016. Esta fuente es referenciada también en las Directrices del IPCC. Los factores de emisión utilizados según la fuente citada se presentan a continuación:

Tabla 34. Factores de emisión de la fuente Industrias de la energía (1A1)

Gas precursor	CO (g/GJ)	NOx (g/GJ)	COVDM (g/GJ)	SOX (g/GJ)
Carbón (antracita)	8,70	209,00	1,00	820,00
Gas natural	20,00	15,00	0,65	0,17
Gas de refinería	39,00	89,00	2,60	0,28
Petróleo Residual	15,10	142,00	2,30	495,00
Diesel	16,20	65,00	0,80	46,50
Biomasa	90,00	81,00	7,31	10,80

Tabla 35. Factores de emisión de la fuente Industrias de la manufactura y construcción (1A2)

Gas precursor	CO (g/GJ)	NOx (g/GJ)	COVDM (g/GJ)	SOX (g/GJ)
Carbón	931,00	173,00	88,80	900,00
Gas natural	29,00	74,00	23,00	0,67
Petróleo Residual	93,00	718,00	35,00	66,00
Gasolina de motor y Diesel	66,00	513,00	25,00	47,00
Gas Licuado de Petróleo - GLP	40,00	308,00	15,00	28,00
Carbón vegetal, leña y bagazo	570,00	91,00	300,00	11,00

Tabla 36. Factores de emisión de las fuentes: Comercial/Institucional (1,A,4,a) y Agricultura/Pesquería (1,A,4,c,)

Gas precursor	CO (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	COVDM (g/GJ)	SOX (g/GJ)
Carbón	931,00	173,00	88,80	840,00
Gas natural	29,00	74,00	23,00	0,67
Petróleo Residual	200,00	1,319,00	70,00	140,00
Diesel	93,00	306,00	20,00	94,00
Gas Licuado de Petróleo	2,00	50,00	0,02	6,00
Biomasa	91,00	570,00	300,00	11,00

Tabla 37. Factores de emisión de la fuente Residencial (1A4b)

Gas precursor	CO (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	COVDM (g/GJ)	SOX (g/GJ)
Carbón	4,600,00	110,00	484,00	900,00
Gas natural	26,00	51,00	1,90	0,30
Petróleo Residual	80,00	72,00	1,00	97,00
Diesel	57,00	51,00	0,69	70,00
Gas Licuado de Petróleo	34,00	31,00	0,40	42,00
Biomasa	4,000,00	50,00	600,00	11,00

En base a estos factores de emisión se obtuvieron las emisiones de gases precursores para las fuentes estacionarias de la categoría energía, los resultados se presentan en la sección 5 de este RAGEI.

Anexo 4: Estimación del factor de emisión nacional del gas natural

Para estimar el factor de emisión de la combustión del gas natural se siguió la metodología del API⁵ la cual te permite calcular directamente las emisiones de CO₂ y para que de esto se obtenga el factor de emisión propiamente. La metodología indicada presenta la siguiente fórmula para determinar las emisiones de GEI por la quema del gas natural.

Ecuación 10: Emisiones de CO₂ por consumo de gas natural

$$E_{CO_2} = FC \times \frac{1}{\text{molar volume conversion}} \times MW_{\text{Mixture}} \times Wt\% C_{\text{Mixture}} \times \frac{44}{12}$$

Donde

E_{CO_2} =	emisiones de CO ₂ en masa (lb o kg)
FC =	consumo de combustible (pie ³ o m ³)
Molar volumen conversión =	conversión de volumen molar a masa (23.685m ³ /kgmol)
MW _{mixture} =	Peso molecular de la mezcla
Wt% C _{Mixture} =	Porcentaje en peso del carbono en mezcla
44/12 =	Conversión estequiometría de C a CO ₂

Para estimar entonces las emisiones de CO₂, los únicos datos que se requirieron fueron el peso molecular de la mezcla del gas natural y la participación porcentual en peso del carbono en el gas natural. La cantidad de combustible consumido puede ser variable y el valor de la conversión de volumen molar a masa es constante.

Los datos requeridos fueron proveídos por Pluspetrol Perú Corporation, quien facilitó datos representativos de la composición molar del gas natural para todos los meses del año 2019. Para poder estimar el peso molecular del gas natural (MW_{Mixture}), se trabajó con los valores promedio considerando los 12 meses del año, los mismos que sirvieron para hallar el porcentaje en peso del carbono que contiene el gas natural (Wt% C_{Mixture}).

Con la información obtenida se estimó el peso molecular del gas natural sumando todos los productos obtenidos de la multiplicación de la fracción molar de cada componente del gas natural por su respectivo peso molecular, obteniéndose un peso de 17.53 Kg. La participación en peso del carbono contenido en el gas natural se obtuvo sumando todos los productos de la multiplicación de las fracciones molares de cada componente por el porcentaje en peso de carbono contenido en el mismo componente, obteniéndose una participación del 74.33%.

⁵ *Compendium of greenhouse gas emissions methodologies for the oil and natural gas industry/*
http://www.api.org/~media/files/ehs/climate-change/2009_ghg_compendium.ashx

Tabla 31. Composición molar del gas natural distribuido por Pluspetrol

Mes	Nitrógeno (N ₂)	Dióxido de carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Etano (C ₂ H ₆)	Propano (C ₃ H ₈)	n-Butano (C ₄ H ₁₀)	Iso-Butano (C ₄ H ₁₀)	n-Pentano (C ₅ H ₁₂)	iso-Pentano (C ₅ H ₁₂)	Hexano (C ₆ H ₁₄)	Heptano (C ₇ H ₁₆)	Octano (C ₈ H ₁₈)
Enero	1.1320	0.2436	89.5160	9.0344	0.0731	0.0004	0.0003	0.0000	0.0000	-	-	-
Febrero	1.1427	0.2464	89.5111	9.0272	0.0721	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	-	-	-
Marzo	1.1385	0.2449	89.5253	9.0090	0.0812	0.0006	0.0004	0.0000	0.0001	-	-	-
Abril	1.1683	0.2466	89.5146	8.9635	0.1039	0.0017	0.0012	0.0001	0.0002	-	-	-
Mayo	1.1336	0.2480	89.4459	9.0897	0.0815	0.0007	0.0005	0.0000	0.0001	-	-	-
Junio	1.0831	0.2501	89.4480	9.1465	0.0710	0.0007	0.0005	-	0.0001	-	-	-
Julio	1.0933	0.2531	89.4717	9.1101	0.0709	0.0004	0.0005	-	-	-	-	-
Agosto	1.1032	0.2543	89.5184	9.0437	0.0799	0.0003	0.0002	-	-	-	-	-
Septiembre	1.1216	0.2524	89.4922	9.0520	0.0817	0.0001	-	-	-	-	-	-
Octubre	1.1047	0.2562	89.4686	9.0608	0.1055	0.0022	0.0015	0.0003	0.0004	-	-	-
Noviembre	1.1170	0.2555	89.4789	9.0686	0.0798	0.0001	0.0001	-	-	-	-	-
Diciembre	1.1208	0.2547	89.5121	9.0331	0.0790	0.0002	0.0001	-	-	-	-	-
Promedio	1.12%	0.25%	89.49%	9.05%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Fuente: Pluspetrol

Tabla 32. Peso molecular del gas natural y participación en peso de carbono

Compuesto	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₈ H ₁₈	Gas natural
Peso molecular (g)	28	44	16.04	30	44	58	58	72	72	86	100	114	17.54
Porcentaje de carbono en peso del compuesto (%)	0.00%	27.27%	74.81%	80.00%	81.82%	82.76%	82.76%	83.33%	83.33%	83.72%	84.00%	84.21%	
Porcentaje de carbono en peso del gas natural (%)	0.00%	0.07%	66.95%	7.24%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	74.33%

Fuente: DGEE-MINEM

Una vez obtenidos estos datos se procede a estimar, siguiendo la ecuación presentada anteriormente, la relación ECO_2 / FC , obteniéndose **0,00201729 tCO₂e/m³**.

Para llevar esta relación a unidades energéticas es necesario obtener el poder calorífico inferior (PCI) del gas natural. Pluspetrol brindó datos mensuales del poder calorífico neto y se obtuvo el valor promedio de **35.84 MJ/m³**.

Con estos 2 datos se obtiene finalmente el factor de emisión nacional basado en unidades energéticas, el valor estimado resulta en **56,293 kgCO₂/TJ**. Este valor está dentro del rango establecido por el IPCC (54,300 – 58,300) y es superior en un 0.34% respecto al factor de emisión por defecto (56,100 kgCO₂/TJ).

Tabla 33. Análisis comparativo del factor de emisión nacional para gas natural con valores de IPCC

Combustible	Nacional	FE por defecto (kgCO ₂ /TJ)	Inferior (kgCO ₂ /TJ)	Superior (kgCO ₂ /TJ)
Gas Natural	56,293	56,100	54,300	58,300
Variación porcentual		0.34%	3.67%	-3.44%