

RAGEI 2019

REPORTE ANUAL DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR
DESECHOS 2019



CATEGORÍAS:

**ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS,
TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE DESECHOS
SÓLIDOS E INCINERACIÓN ABIERTA DE
DESECHOS**

Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Desechos del año 2019
Categorías: Eliminación de Desechos Sólidos,
Tratamiento biológico de desechos sólidos e
Incineración abierta de desechos

Preparado por:
Ministerio del Ambiente
Viceministerio de Gestión Ambiental
Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos

Lima, 2023

CONTENIDO

SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	7
RESUMEN EJECUTIVO	9
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 SITUACIÓN DEL SECTOR.....	11
3 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI.....	13
3.1. Organización para la elaboración del RAGEI.....	13
3.2. Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI.....	13
3.3. Control de Calidad y Garantía de la Calidad del RAGEI.....	14
4 METODOLOGÍA APLICADA	15
4.1. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI	15
4.2. Metodología para el análisis de incertidumbre	16
4.3. Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal.....	17
5 RESULTADO SECTORIAL – DESECHOS SÓLIDOS	18
5.1 Análisis de resultados	18
5.2 Análisis de incertidumbre	19
5.3 Actualización de la serie temporal	20
6 RESULTADOS POR CATEGORÍA - CATEGORÍAS 4A, 4B Y SUBCATEGORÍA 4C2	22
6.1. Categoría 4A: Eliminación de Desechos Sólidos	22
6.1.1. Método de cálculo	22
6.1.2. Datos de actividad	25
6.1.3. Factores de emisión y de conversión	29
6.1.4. Análisis de incertidumbre	30
6.1.5. Análisis de resultados	31
6.1.6. Actualización de la serie temporal.....	31
6.1.7. Análisis de zonas climáticas en el Modelo de desechos del IPCC.....	32
6.2. Categoría 4B: Tratamiento biológico de desechos sólidos	33
6.2.1. Método de cálculo	33
6.2.2. Datos de actividad	35
6.2.3. Factores de emisión y de conversión	36
6.2.4. Análisis de incertidumbre	36
6.2.5. Análisis de resultados	37
6.2.6. Actualización de la serie temporal.....	38
6.3. Subcategoría 4C2: Incineración abierta de desechos.....	38
6.3.1. Método de cálculo	38
6.3.2. Datos de actividad	43
6.3.3. Factores de emisión y de conversión	47
6.3.4. Análisis de incertidumbre	47
6.3.5. Análisis de resultados	49
6.3.6. Actualización de la serie temporal.....	49
7 Control de Calidad y Garantía de la Calidad	51
7.1. Control de calidad.....	51
7.2. Garantía de calidad.....	53
8 PLAN DE MEJORA	55
9 BIBLIOGRAFÍA.....	58
10 ANEXOS.....	59
10.1. Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI.....	59
10.2. Anexo 2: Juicio de experto realizado	60
10.3. Anexo 3: Procedimiento de control de calidad.....	61

Índice de tablas

Tabla N°1 Acciones de Gestión de Residuos Sólidos Municipales 2019	11
Tabla N°2 Fuentes de información requerida para el RAGEI	13
Tabla N°3 Sistemas de archivo digital del RAGEI 2019.....	13
Tabla N°4 Gases estimados en el RAGEI 2019.....	15
Tabla N°5 Emisiones de GEI estimadas del Sector Desechos - Categoría 4A, 4B y Subcategoría 4C2.....	18
Tabla N°6 Gases precursores del Sector Desechos - Categoría 4A, 4B y Subcategoría 4C2	18
Tabla N° 7 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones por actividades de Gestión de Desechos Sólidos	20
Tabla N° 8 Serie temporal de emisiones (Gg CO ₂ eq) originales y actualizadas	20
Tabla N°9 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4A – Nivel 1	26
Tabla N°10 Generación per cápita de desechos sólidos municipales	27
Tabla N°11 Composición de residuos sólidos municipales para el año 2019	29
Tabla N°12 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la categoría 4A... 29	29
Tabla N°13 Valores de incertidumbre para los datos de actividad	30
Tabla N°14 Valores de incertidumbre para los factores de emisión.....	30
Tabla N°15 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la categoría Eliminación de desechos sólidos.....	31
Tabla N°16 Valores por defecto para zonas climáticas	32
Tabla N°17 Resultados del modelo utilizando los parámetros específicos para cada tipo de clima	33
Tabla N°18 Resultados para tres modelos diferenciados por regiones	33
Tabla N°19 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4B – Nivel 1.....	35
Tabla N°20 Valorización de residuos sólidos.....	35
Tabla N°21 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la categoría 4A... 36	36
Tabla N°22 Valores de incertidumbre para los datos de actividad	36
Tabla N°23 Valores de incertidumbre para los factores de emisión.....	36
Tabla N°24 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la categoría 4B	37
Tabla N°25 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4C2 – Nivel 1.....	43
Tabla N°26 GPC promedio rural	44
Tabla N°27 Total de residuos sólidos incinerados (Gg/año)	45
Tabla N°28 Composición de desechos sólidos en zonas rurales	45
Tabla N°29 Fracción de la población que quema residuos	46
Tabla N°30 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la subcategoría 4C2.....	47
Tabla N°31 Valores de incertidumbre para los datos de actividad	48
Tabla N°32 Valores de incertidumbre para los factores de emisión.....	48
Tabla N°33 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la subcategoría Incineración abierta de desechos	48
Tabla N°34 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Categoría 4A	51
Tabla N°35 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Categoría 4B.....	52
Tabla N°36 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Subcategoría 4C2.....	53
Tabla N°37 Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI	55
Tabla N°38 Procedimientos generales de control de calidad	61
Tabla N°39 Procedimientos de específicos de control de calidad	63

Índice de figuras

Figura N°1 Emisiones de las categorías 4A, 4B y la subcategoría 4C2 (Gg CO ₂ eq).....	19
Figura N°2 Porcentaje de participación de las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos	19
Figura N° 3 Actualización de las emisiones de GEI (Gg CO ₂ eq) Sector Desechos Sólidos	21
Figura N°4 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ procedentes de la disposición de desperdicios sólidos en tierra	23
Figura N°5 Evolución de la generación per cápita de desechos sólidos municipales	28
Figura N°6 Emisiones de metano generadas por la categoría 4A	31
Figura N°7 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4A	32
Figura N°8 Emisiones de GEI generadas por la categoría 4B	37
Figura N°9 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4B	38
Figura N°10 Árbol de decisión para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes de la incineración abierta de desechos	39
Figura N°11 Árbol de decisión para las emisiones de CO ₂ procedentes de la incineración abierta de desechos.....	41
Figura N°12 Emisiones de GEI generadas por la subcategoría 4C2.....	49
Figura N°13 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4C2	49

Índice de ecuaciones

Ecuación N°1 Emisiones de CH ₄ procedentes de los sitios de disposición final de desechos sólidos	24
Ecuación N°2 Carbono orgánico disuelto	24
Ecuación N°3 Potencial de generación de CH ₄	24
Ecuación N°4 Potencial de generación de CH ₄	24
Ecuación N°5 Potencial de generación de CH ₄	25
Ecuación N°6 Potencial de generación de CH ₄	25
Ecuación N°7 Emisiones de CH ₄ procedentes del tratamiento biológico de desechos sólidos ..	34
Ecuación N°8 Emisiones de N ₂ O procedentes del tratamiento biológico de desechos sólidos..	34
Ecuación N°9 Estimación de las emisiones de CH ₄ basada en la cantidad total de desechos incinerados.	40
Ecuación N°10 Estimación de emisiones de N ₂ O	40
Ecuación N°11 Estimación de las emisiones de CO ₂ basada en la cantidad total de desechos incinerados.	41
Ecuación N°12 Cantidad total de desechos sólidos municipales incinerados abiertamente.....	42
Ecuación N°13 Contenido de materia seca en los residuos	42

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Bfrac	Fracción de la cantidad de desechos que se quema respecto de la cantidad total de desechos tratados
CC	Control de calidad
CH₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
CO₂eq	Dióxido de Carbono equivalente
COD	Compuesto orgánico degradable
CODf	Fracción de carbono orgánico disuelto que se descompone bajo condiciones anaeróbicas
CODm	Carbono orgánico disuelto depositado
CODmat	CODm acumulado en los sitios de disposición final al final del año T
CODmat-1	CODm acumulado en los sitios de disposición final al final del año T-1
CODmdt	CODm depositado en los sitios de disposición final durante el año T
COP	Conferencia de las Partes
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
DGRS	Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos
dm	Contenido total de materia seca en los RSM
dmi	Contenido de materia seca en el componente i
DS	Decreto Supremo
EEA	European Environmental Agency
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
F	Fracción de metano en gas de vertedero generado
FCM	Factor de corrección de metano
FOD	First order decay (Descomposición de primer orden)
GC	Garantía de la calidad
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Giga gramo
Directrices del IPCC 2006	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (del inglés <i>2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>)
GPC	Generación per cápita
Hab	Habitantes
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INFOCARBONO	Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IP	Información procesada
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (del inglés <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
k	Constante de reacción
kg	Kilogramo

Lo	Potencial de generación de metano
MINAM	Ministerio del Ambiente
mm	Milímetros
N₂O	Óxido nitroso
NA	No aplica
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional
NE	No Estimado
NO_x	Óxidos de Nitrógeno
O_xt	Factor de oxidación durante el año T
PCG	Potencial de Calentamiento Global (GWP en inglés, <i>Global Warming Potential</i>)
Pfrac	Fracción de la población que quema desechos
RAGEI	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero
RSM	Residuos Sólidos Municipales
R_t	Metano recuperado durante el año T
SIGERSOL	Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos
T_n	Tonelada
W	Cantidad de desechos sólidos depositados
W_{Fi}	Fracción del componente i en los RSM

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 desechos correspondientes al año 2019 y la actualización de las emisiones de los años 2016, 2014, 2012, 2010, 2005, 2000 y 1994, para las categorías de i) 4ª – Eliminación de desechos sólidos, ii) 4B – Tratamiento biológico y iii) 4C2 – Incineración abierta de desechos.

El RAGEI 2019 presenta los resultados de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) generados por la gestión de desechos sólidos, calculados aplicando la metodología de las Directrices de Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en adelante, Directrices del IPCC de 2006).

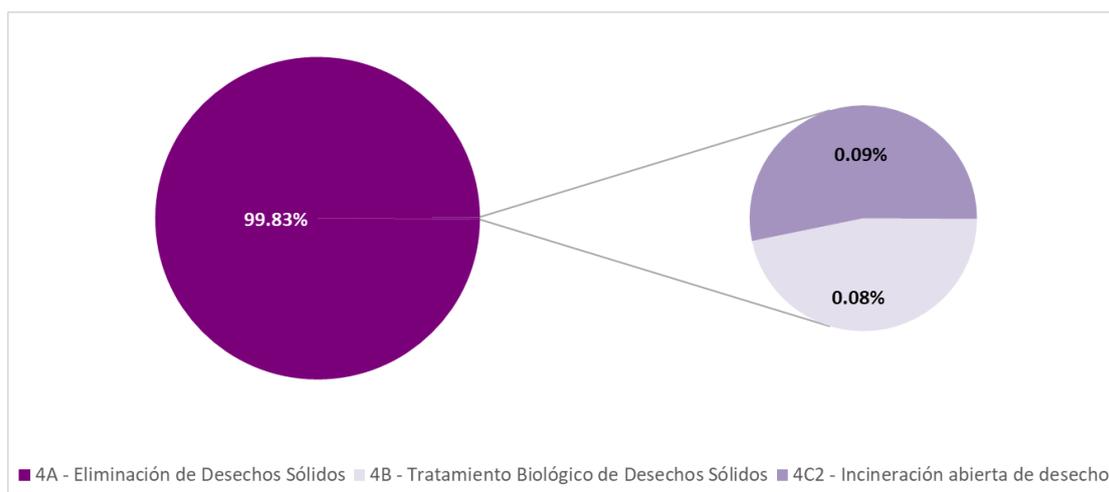
Los valores de GEI se reportan en forma agregada, expresados en dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), utilizando el Poder de Calentamiento Global (PCG) proporcionados por el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación (AR5, por sus siglas en inglés), que se basan en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de cien años.

Las emisiones de GEI del año 2019 se han estimado en 6,472.31 GgCO₂eq para la categoría 4A, 5.20 GgCO₂eq para la categoría 4B y en 5.94 GgCO₂eq para la subcategoría 4C2. Haciendo un total de 6,483.46 GgCO₂eq emisiones producto de la gestión de residuos sólidos.

Respecto a la evolución de las emisiones de GEI, se tiene que las emisiones del año 2019 aumentaron en aproximadamente en un 15.06% respecto al 2016 y 50.05% respecto al año 1994. Esta tendencia está relacionada al incremento poblacional y a la consecuente generación de desechos sólidos.

A continuación, la siguiente figura muestra la participación de las emisiones de GEI según fuente:

Figura N°1 Porcentaje de participación de las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos



1 INTRODUCCIÓN

El presente Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) del Sector Desechos ha sido elaborado por la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (DGRS) del MINAM. Este reporte considera las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de categoría de Eliminación de desechos sólidos, categoría de Tratamiento biológico de desechos sólidos y la subcategoría de Incineración abierta de desechos.

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 la serie temporal 2000, 2005, 2010, 2012, 2014, 2016. Además, en los resultados descritos para la serie histórica, se incluyen las estimaciones de las emisiones desde el año 1994.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia para el sector porque permiten identificar cuáles son las actividades que generan mayores emisiones de GEI 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 de las actividades del sector desechos (desechos sólidos).

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

2 SITUACIÓN DEL SECTOR

El sector residuos sólidos viene siendo liderado por el MINAM quien es el ente rector a nivel nacional para la gestión y manejo de los residuos, quien a través de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (DGRS), es el encargado de elaborar los reportes anuales de GEI (RAGEI) así como de monitorear las reducciones de emisiones de GEI por la implementación de medidas de mitigación asumidas en las Contribuciones Determinadas a Nivel nacional (NDC).

Para el año 2019, la población total según el Instituto de Estadística e Informática (INEI) fue de 32,131,400 habitantes, de la cual se estimó una población urbana de 26,311,100 habitantes y una población rural de 5,820,300 habitantes. La generación total del año 2019 es de 9,503.35 Gg de residuos sólidos municipales lo cual incluye la generación tanto rural y urbana con una generación per cápita de 0.810 kg/hab/día (295.77kg/hab/año).

Para dicho año, el sector residuos sólidos contó con 49¹ rellenos sanitarios y una celda transitoria, los cuales atendieron la demanda de 167 distritos a nivel nacional (13,498,822 habitantes), lo que demuestra que existe un déficit de infraestructuras de disposición final adecuada de residuos sólidos, es por ello por lo que existen 1,637² áreas degradadas por residuos sólidos, conocidos como “botaderos”.

La descomposición anaerobia de los residuos sólidos orgánicos en la disposición final provoca la emisión de metano (CH₄), gas de efecto invernadero que tiene un potencial de calentamiento global 28³ veces mayor que el dióxido de carbono (CO₂). De otro lado la incineración abierta genera gases como: CO₂ producto de la combustión, CH₄ dado que una gran proporción del carbono contenido en los desechos no se oxida, y emisiones de óxido nitroso (N₂O) las cuales se dan en procesos de combustión a temperaturas relativamente bajas, entre 500 y 950 °C.

A excepción de dos rellenos sanitarios⁴ a nivel nacional, los rellenos sanitarios existentes no cuentan con un sistema de captura centralizada de gases para su quema o uso, por lo que las emisiones generadas son venteadas a la atmósfera causando un gran impacto.

Sin embargo, a partir de la publicación del reglamento de la Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos, DS 014-2017-MINAM (21 de diciembre de 2017), se precisa que para el caso de rellenos sanitarios que manejen más de 200 toneladas de residuos sólidos diarios, éstos deberán implementar progresivamente la captura y quema centralizada de gases, a efectos de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; producto de la gestión de residuos sólidos municipales.

Es así como la gestión de los residuos sólidos para el año 2019 se resume en las siguientes acciones:

Tabla N°1 Acciones de Gestión de Residuos Sólidos Municipales 2019

Acción	Actividades	2019
	GPC Municipal kg/hab/día ⁵	0.810

¹ Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM. Archivo de sustento MINAM (2020). Disposición final 2014-219.xls.

² Inventario de áreas degradadas por residuos sólidos – OEFA.

³ Quinto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático – IPCC.

⁴ Relleno Sanitario Modelo Callao y Relleno Sanitario Huayacoloro.

⁵ Archivo: GPC - Generación RS 2014 - 2019.xls.

Acción	Actividades	2019
Generación total de residuos sólidos 2019	GPC Municipal kg/hab/año	295.765
	Población total	32,131,400
	Generación RSM Total tn/año	9'503,345.71
Acción 1	A relleno sanitario tn/año ⁶	4,159,077.98
% de RRSS generados involucrado	% Gestionado	43.76%
Acción 2	Recuperación de RSM inorgánicos reportada tn/año ⁷	56,888.20
% de RRSS generados involucrado	% RSM inorgánicos recuperados	0.60%
Acción 3	Recuperación de RSM orgánicos reportada y estimada tn/año ⁸	27,174.36
% de RRSS generados involucrado	% RSM orgánicos recuperados	0.41%
Acción 4	RSM incinerados tn/año ⁹	9,712.01
% de RRSS generados involucrado	% RSM incinerados	0.10%
Acción 5	RSM dispuestos en áreas degradadas (botaderos) No Categorizado tn/año	5,238,698.31
% de RRSS generados involucrado	% No categorizado	55.12%
Suma total de actividades de gestión de residuos sólidos municipales		100%

Fuente: Elaboración propia - Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Como se puede observar en la tabla anterior, se han identificado todas las acciones relacionadas a la gestión de residuos sólidos implementadas en el país para el año 2019. La categoría 4A aborda las emisiones de GEI de acciones 1 y 5, la categoría 4B aborda las emisiones de GEI de la acción 3 y la subcategoría 4C2 involucra las emisiones de la acción 4.

La acción 2 no ha sido considerada en el presente RAGEI debido a que no genera emisiones.

Es importante mencionar que el MINAM cuenta con un Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL), en el cual los municipios a nivel nacional reportan los resultados de sugestión en residuos sólidos municipales anualmente. El SIGERSOL ha sido fortalecido con espacios para el llenado de información tanto sobre la gestión de residuos sólidos, así como el monitoreo de los parámetros y datos requeridos para el cálculo de emisiones y reducciones de GEI de manera automática, permitiendo desarrollar estrategias adecuadas para la mejora de la gestión de residuos sólidos y la gestión de GEI.

Finalmente, hay que mencionar que el MINAM no cuenta con información detallada sobre la cantidad de residuos sólidos NO municipales generados a nivel nacional, para el año del presente reporte. Sin embargo, es importante señalar que, con la implementación de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, esta información no municipal está siendo reportada de manera obligatoria al MINAM, por lo que, los futuros reportes contarán con dicha información.

⁶ Archivo: MINAM (2020). Disposición final 2014-219.xls

⁷ Carpeta: MINAM-Valorización de RS Municipales 2014 -2020

⁸ Carpeta: MINAM-Valorización de RS Municipales 2014 -2020

⁹ Archivo: RAGEI_4C2_Incineración-de-residuos-sólidos-2019.xls

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 MINAM es la entidad competente encargada de la elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del Sector Desechos, categorías de Eliminación de Desechos Sólidos (4A), Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos (4B) e Incineración e Incineración abierta de Desechos (4C).

Dentro del MINAM, la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (DGRS) es la responsable de elaborar el RAGEI 2019.

3.2. Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI

La información que se requiere para la elaboración del RAGEI es recolectada por la DGRS, a través de las siguientes fuentes:

Tabla N°2 Fuentes de información requerida para el RAGEI

Información	Fuente
Población total, urbana y rural	INEI
Generación per cápita de residuos sólidos municipales.	DGRS – MINAM
Composición de residuos sólidos municipales.	DGRS – MINAM
Cantidad de residuos sólidos aprovechados	DGRS – MINAM
Cantidad de residuos sólidos incinerados	DGRS – MINAM
Sitios de disposición final de residuos sólidos.	DGRS – MINAM
Cantidad de residuos sólidos no municipales generados	DGRS – MINAM
Reducciones de emisiones de GEI en infraestructuras de disposición final de residuos sólidos.	PETRAMÁS ¹⁰

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

La DGRS del MINAM es la encargada de recopilar, sistematizar y archivar la información utilizada para la elaboración de los RAGEI en el marco del INFOCARBONO. Una vez recopilada y procesada, la información se archiva en formato digital, a fin de facilitar la carga de la información disponible en la página web del INFOCARBONO, tal como se describe a continuación:

- *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 N°3 Sistemas de archivo digital del RAGEI 2019

Carpeta	Contenido
1. Documentos de soporte	Contiene la relación de documentos que forman parte de la información requerida para la estimación de las emisiones nacionales de GEI del sector desechos (desechos sólidos). 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

¹⁰ Una vez que el SIGERSOL fortalecido entre en funcionamiento, las reducciones de emisiones de GEI producto de la implementación de medidas de mitigación del sector residuos sólidos, se tomarán del SIGERSOL.

Carpeta	Contenido
2. Planilla de cálculo	En esta carpeta se encuentra el archivo Excel con el que se estimaron las emisiones de GEI del sector desechos (desechos sólidos) del año en que se elaboró el RAGEI. Es preciso señalar que en el archivo Excel también se encuentra la estimación de la serie anual desde 1994.
3. Informe	Contiene el informe del RAGEI propiamente.

Fuente: DGEE – MINEM

3.3. Control de Calidad y Garantía de la Calidad del RAGEI

Para la elaboración del RAGEI 2019, la DGRS ha tomado en consideración los procedimientos generales de control de calidad dispuestos en el Capítulo 6 de las Directrices del IPCC de 2006, que incluyen chequeos generales relativos a los cálculos, procesamiento de la data y documentación que son aplicables a todas las categorías de un inventario de GEI. De este proceso se resalta la implementación de acciones de revisión de la información de entrada utilizada (consistencia, referencia apropiada, entre otros). Los procedimientos específicos aplicados se presentan en el numeral 7.1 del presente reporte.

Adicionalmente, es importante mencionar que las estimaciones de GEI reportadas en este informe fueron revisadas por la firma consultora Gauss International Consulting, contratada por el proyecto “Elaboración del Tercer Informe Bienal de Actualización (3BUR) y la Cuarta Comunicación Nacional (4CN) para su presentación a la CMNUCC” 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 7.2.

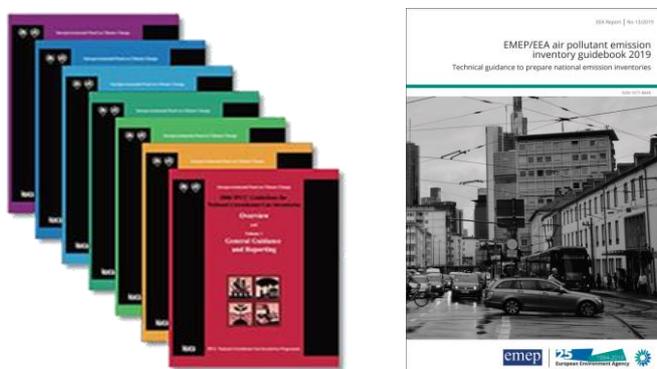
4 METODOLOGÍA APLICADA

4.1. Metodología para el cálculo de emisiones de GEI

El RAGEI del Sector Desechos de las categorías 4A, 4B y 4C2 ha sido elaborado aplicando la metodología que establece las Directrices del IPCC de 2006. Específicamente se utilizó el volumen 5 referido a Desechos, de los capítulos 3, 4 y 5 para estimar las emisiones de GEI por la eliminación de desechos sólidos, tratamiento biológico de desechos sólidos e incineración abierta de desechos.

Adicionalmente, se ha utilizado 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 N°2: Documentos de referencia utilizados en la elaboración del RAGEI



Fuente: DGRS – MINAM

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 desechos: eliminación de desechos sólidos, por el tratamiento biológico, así como por la incineración abierta de desechos, aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006. Las ecuaciones utilizadas para las fuentes de emisión de GEI aquí consideradas se presentan en capítulos posteriores.

A continuación, se muestra las categorías del sector desechos consideradas en el RAGEI 2019 y el tipo de gases estimados:

Tabla N°4 Gases estimados en el RAGEI 2019

Codificación		Descripción	Categoría IPCC	GEI y precursores generados	GEI estimados en el RAGEI 2019
4		Sector	Desechos		
	4A	Categoría	Eliminación de desechos sólidos	CH ₄ , CO ₂ DM	CH ₄ , CO ₂ DM
	4B	Categoría	Tratamiento biológico de desechos sólidos	CH ₄ , N ₂ O, CO ₂ DM	CH ₄ , N ₂ O
	4C	Categoría	Incineración e incineración abierta de desechos		
	4C1	Sub-Categoría	Incineración	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, CO ₂ DM, SO ₂	NE

Codificación		Descripción	Categoría IPCC	GEI y precursores generados	GEI estimados en el RAGEI 2019
	4C2	Sub-Categoría	Incineración abierta de desechos	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Nota: Las Directrices del IPCC de 2006 brindan metodologías para la estimación de los gases de efecto invernadero referidas a CO₂, CH₄ y N₂O y la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019, brindan las metodologías para estimar los gases NO_x, CO, COVDM y SO₂ que se han reportado en el presente RAGEI.

En el RAGEI 2019 se han abarcado las emisiones de gas metano (CH₄) y compuestos orgánicos volátiles diferente de metano (COVDM) de la categoría 4A, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) de la categoría 4B, las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferente de metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂) de la subcategoría 4C2.

Las emisiones de la subcategoría 4C1 no fueron estimadas debido a que la actividad de incineración controlada de desechos sólidos municipales no es una práctica a nivel nacional por la normativa actual¹¹.

4.2. Metodología para el análisis de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre facilitan la priorización de los esfuerzos y asignación de los recursos en el proceso de mejorar la calidad (exactitud) de los RAGEI en el futuro y orientar las decisiones sobre la elección de la metodología. Asimismo, permiten que los usuarios estimen los rangos de emisiones asociados a la presente subcategoría, y comprendan la fiabilidad de la estimación total y de sus componentes.

El análisis de incertidumbre se ha realizado aplicando el método 1 descrito en las Directrices del IPCC de 2006. Este método consiste en la estimación de las incertidumbres usando la ecuación de propagación de errores mediante reglas de combinación. Se obtiene una estimación del nivel de incertidumbre combinada (factores de emisión y datos de actividad) para la subcategoría y la incertidumbre de la tendencia entre el año de análisis y el año base, que en el presente caso son el 2019 y el 2000¹², respectivamente.

Para determinar la incertidumbre de los factores de emisión y de los datos de actividad se utilizaron los valores por defecto recomendados por las Directrices del IPCC de 2006.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de la 4A categoría Eliminación de Desechos Sólidos en el año 2019 es igual a $\pm 100.12\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones es igual a $\pm 101.98\%$.

De otro lado, los resultados obtenidos en la categoría 4B Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de metano y óxido nitroso en el año 2019 es igual a $\pm 104.04\%$ y $\pm 103.45\%$ respectivamente.

Asimismo, los resultados obtenidos de la subcategoría 4C2 Incineración abierta de desechos, indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en el año 2019 es igual a $\pm 118.85\%$, $\pm 150.08\%$ y $\pm 150.08\%$, respectivamente, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones de esta subcategoría es igual

¹¹ MINAM (2016). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf>

¹² El año base ha sido establecido en el marco del INGEI 2019 para todos los sectores.

a ± 13.21 %.

4.3. Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal

Para la estimación de las emisiones de GEI del año 2019 y la actualización de la serie temporal 2016, 2014, 2012, 2010, 2005, 2000 y 1994 se ha aplicado la misma metodología y fuente de información.

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 preparadas hasta la fecha.

Para lograr la consistencia de las estimaciones y completar los datos faltantes en la serie temporal se ha aplicado la técnica de empalme de las Directrices del IPCC de 2006, denominada **interpolación**¹³, la cual se utiliza siempre que se vea que existe una tendencia estable en la serie y cuando se prevé que los datos a estimar tendrán un comportamiento similar.

¹³ Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1. Orientación General y reportes Capítulo 5. Consistencia de la serie temporal. Sección 5.3.3.3 Pág. 5.11. Disponible en https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_5_Ch5_Timeseries.pdf

5 RESULTADO SECTORIAL – DESECHOS SÓLIDOS

En esta sección se presentan los resultados generales del total de emisiones e incertidumbre estimadas para el año 2019 para el sector desechos: Eliminación de desechos sólidos, Tratamiento biológico de desechos sólidos e Incineración abierta de desechos. 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. Más adelante, en la sección 6 de este RAGEI se describen los resultados detallados para cada una de las categorías y fuentes de emisión contempladas dentro del sector desechos sólidos.

5.1 Análisis de resultados

El sector desechos para el año 2019 emitió un total de **6,483.46 GgCO₂eq**, que corresponden a las emisiones de GEI de la Categoría 4A – Eliminación de desechos sólidos, Categoría 4B – Tratamiento biológico de desechos sólidos y la Subcategoría 4C2 – Incineración abierta de desechos.

En la tabla 4 y 5 se reportan las emisiones de GEI y de precursores, de forma desagregada por subcategoría y categoría de fuente de emisión.

Tabla N°5 Emisiones de GEI estimadas del Sector Desechos - Categoría 4A, 4B y Subcategoría 4C2

Categorías	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Gg CO ₂ eq (*)
	(Gg)			
4 DESECHOS				
4A Eliminación de Desechos Sólidos	NA	231.15	NA	6,472.31
4B Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos	NA	0.11	0.01	5.20
4C Incineración e Incineración abierta de desechos	4.1	0.06	0.001	5.94
4C1 Incineración	NE	NE	NE	NE
4C2 Incineración abierta de desechos	4.1	0.06	0.001	5.94

Fuente de formato: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 8, Anexo 8.A2. Tabla 4. Pág. T52

Nota:

(*) Columna adicional al formato de reporte de las Directrices del IPCC de 2006 con fines de comparabilidad con el INGEI.

NE: Gases No Estimados por falta de información.

NA: No aplica, ya que estas emisiones no ocurren.

Tabla N°6 Gases precursores del Sector Desechos - Categoría 4A, 4B y Subcategoría 4C2

Categorías	NO _x	CO	COVDM	SO ₂
	(Gg)			
4 DESECHOS				
4A Eliminación de Desechos Sólidos	NA	NA	14.66	NA
4B Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos	NA	NA	NE	NA
4C Incineración e Incineración abierta de desechos	9.42E-09	3.60E-10	5.19E-11	7.65E-10
4C1 Incineración	NE	NE	NE	NE
4C2 Incineración abierta de desechos	9.42E-09	3.60E-10	5.19E-11	7.65E-10

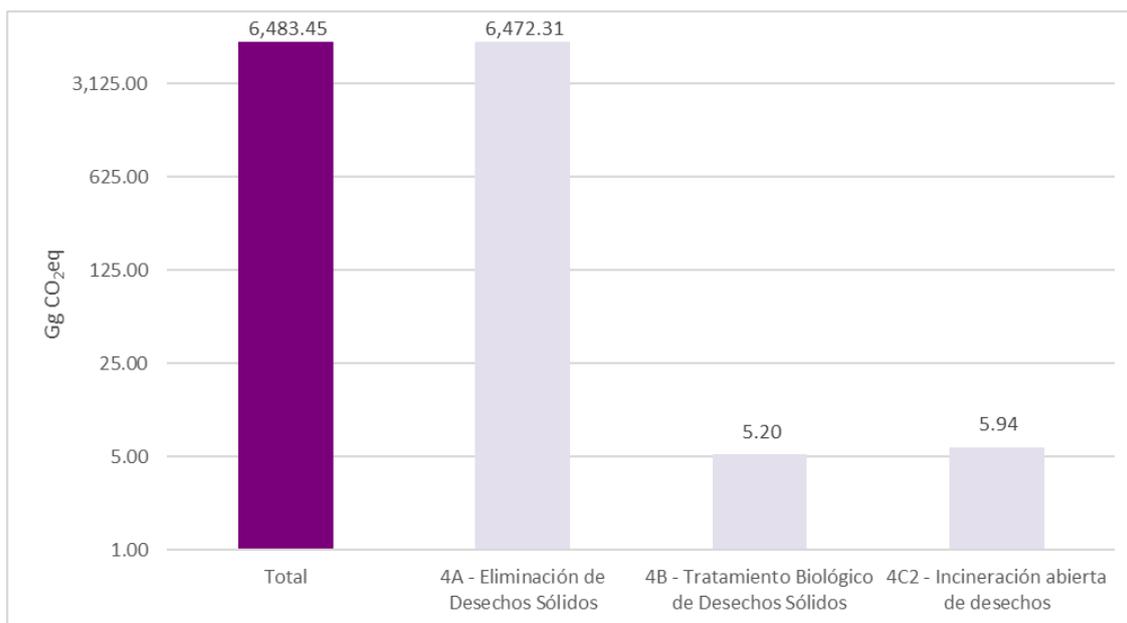
Fuente de formato: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 8, Anexo 8.A2. Tabla 4. Pág. T52

Nota:

NE: Gases No Estimados por falta de información. NA: No aplica, ya que estas emisiones no ocurren.

La categoría que genera mayores emisiones de GEI dentro de las reportadas en este RAGEI, es la Eliminación de desechos sólidos (4A), la cual emite 6,472.31 Gg CO₂eq y representa el 99.83%.

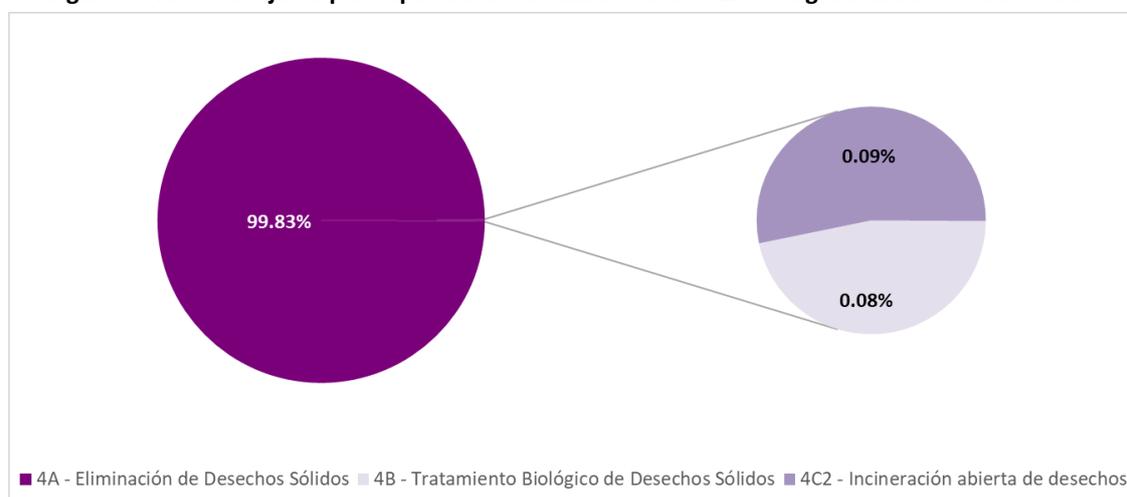
Figura N°3 Emisiones de las categorías 4A, 4B y la subcategoría 4C2 (Gg CO₂eq)



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

De la gráfica anterior, se puede observar que las emisiones de GEI predominantes en la gestión de residuos sólidos provienen de la eliminación de desechos sólidos en rellenos sanitarios o áreas degradadas por residuos sólidos (99.83%) seguida por las emisiones de GEI de la incineración abierta de desechos (0.09%) y una cantidad mínima proveniente del tratamiento biológico de desechos sólidos (0.08%).

Figura N°4 Porcentaje de participación de las emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

5.2 Análisis de incertidumbre

La incertidumbre combinada de los resultados de las emisiones GEI, para las categorías de 4A Eliminación de Desechos Sólidos, 4B Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos e 4C2 Incineración abierta de Desechos, resultó en 99.95% mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia arrojó un 135.38%.

En la tabla a continuación se presentan los resultados de la estimación de la incertidumbre para

el sector desechos sólidos.

Tabla N° 7 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones por actividades de Gestión de Desechos Sólidos

Código de la categoría IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Contribución a la Varianza por Categoría en el año 2019	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales según fuente de emisión y GEI
			Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$(G \cdot D)^2 / (\Sigma D)^2$	$K^2 + L^2$
			%	%	%	fracción	%
Desechos							
4C2	Incineración abierta de desechos	CO ₂	111.92%	40.00%	118.85%	0.00%	0.00%
4A	Eliminación de desechos sólidos	CH ₄	72.11%	69.46%	100.12%	99.91%	183.27%
4B	Tratamiento biológico de los desechos sólidos	CH ₄	30.00%	99.63%	104.04%	0.00%	0.00%
4C2	Incineración abierta de desechos	CH ₄	111.92%	100.00%	150.08%	0.00%	0.00%
4B	Tratamiento biológico de los desechos sólidos	N ₂ O	30.00%	99.00%	103.45%	0.00%	0.00%
4C2	Incineración abierta de desechos	N ₂ O	111.92%	100.00%	150.08%	0.00%	0.00%
Total						100%	183.27%
Incertidumbre en el total del sector:						99.95%	135.38%

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

5.3 Actualización de la serie temporal

En el presente RAGEI 2019 se actualizaron los resultados de las emisiones para los años 2000, 2005, 2010, 2012, 2014 y 2016. La actualización de los resultados fue debido al cambio en los valores de potenciales de calentamiento global, actualización de los datos de actividad y mejoras en las metodologías para la estimación de datos faltantes. Estas mejoras son mencionadas en el desarrollo de los resultados de cada categoría.

A continuación, se presentan 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 el presente RAGEI 2019) que incluye las emisiones del 2018 y 2019.

Tabla N° 8 Serie temporal de emisiones (Gg CO₂eq) originales y actualizadas

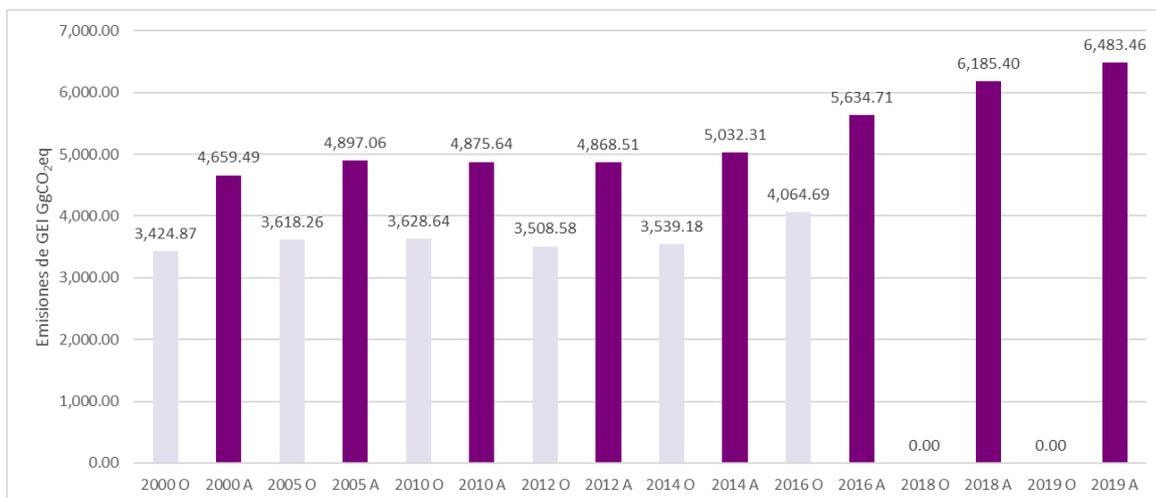
Categoría / Subcategoría	2000		2005		2010		2012		2014		2016		2018		2019	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
4A Eliminación de desechos sólidos	3,352	4,607	3,545	4,845	3,556	4,823	3,419	4,816	3,456	4,980	3,979	5,592	-	6,175	-	6,472
4B Tratamiento biológico de desechos sólidos	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	5.26	-	5.20
4C2 Incineración abierta de desechos sólidos	72.85	52.31	72.85	52.31	72.85	52.31	89.86	52.31	83.46	52.31	85.22	42.88	-	5.55	-	5.94
Total	3,425	4,659	3,618	4,897	3,629	4,876	3,509	4,869	3,539	5,032	4,065	5,635	-	6,185	-	6,483
Diferencia	36.05%		35.34%		34.37%		38.76%		42.19%		38.63%					

O: original, A: Actualizado

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

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

Figura N° 5 Actualización de las emisiones de GEI (Gg CO₂eq) Sector Desechos Sólidos



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6 RESULTADOS POR CATEGORÍA

Esta sección se presenta información y el análisis detallado por una de las siguientes categorías: Categoría 4A – Eliminación de desechos sólidos, Categoría 4B – Tratamiento biológico de desechos sólidos y la Subcategoría 4C2 – Incineración abierta de desechos.

6.1. Categoría 4A: Eliminación de Desechos Sólidos

En esta categoría se estiman las emisiones de GEI, por el tratamiento y la eliminación de los desechos sólidos municipales que producen cantidades significativas de metano (CH_4). Además del CH_4 , los sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS) producen también dióxido de carbono biogénico (CO_2) y compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), así como cantidades más pequeñas de óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO).

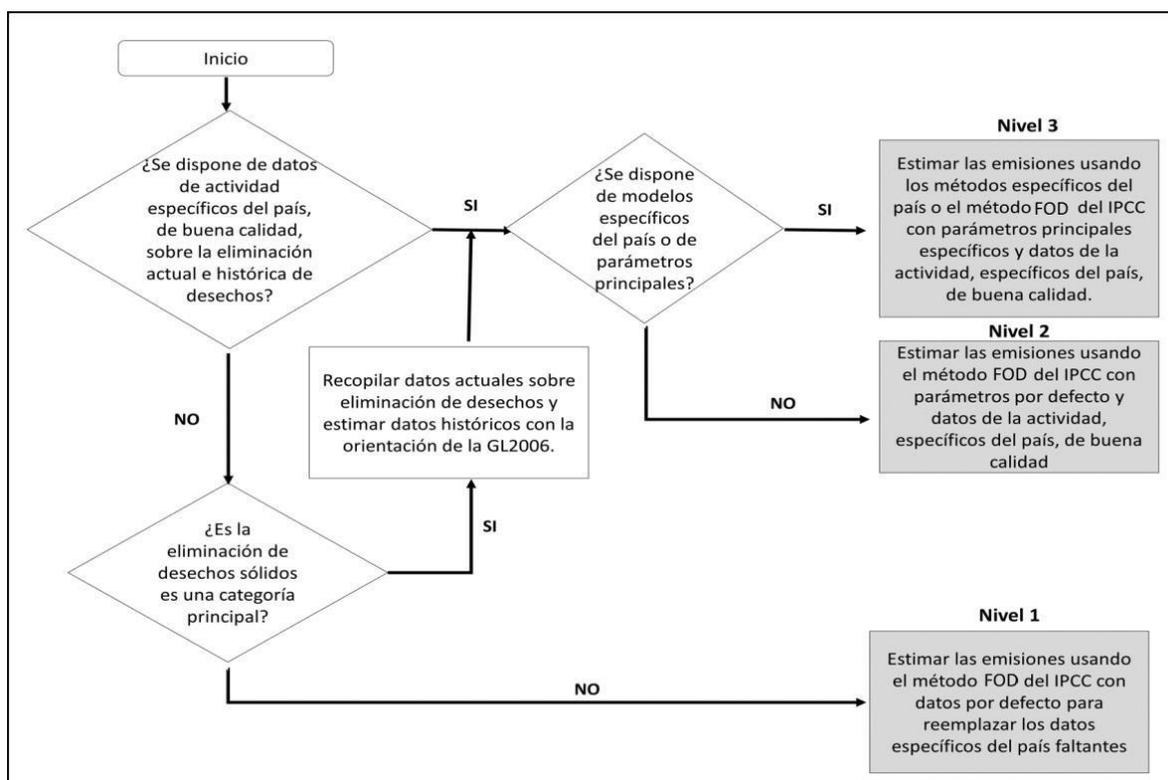
6.1.1. Método de cálculo

Según la Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para la categoría 4A, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1 – Estima las emisiones aplicando el método de descomposición de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés) del IPCC con datos por defecto para reemplazar los datos específicos del país.
- Nivel 2 – Estima las emisiones usando el método FOD del IPCC con parámetros por defecto y datos de actividad, específicos del país de buena calidad.
- Nivel 3 – Estima las emisiones usando los métodos específicos del país o el método FOD del IPCC con parámetros principales y datos de actividad específicos del país de buena calidad.

La siguiente figura muestra el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH_4 procedentes de sitios de eliminación de desechos sólidos de las Directrices del IPCC de 2006, el cual facilita la elección del nivel de cálculo para estimar las emisiones de CH_4 .

Figura N°6 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de la disposición de desperdicios sólidos en tierra



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Figura 3.1. Pág. 3.7

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- A nivel nacional existe información sobre la disposición de residuos sólidos para el año actual del reporte y datos históricos.
- No se cuenta con modelos específicos ni con parámetros requeridos del país.

Por lo anterior, el árbol de decisiones sugiere estimar las emisiones de metano aplicando el método del Nivel 1, es decir el método de FOD del IPCC de las Directrices del IPCC de 2006.

El IPCC ha desarrollado un modelo o software denominado **“Modelo de desechos del IPCC”** a fin de facilitar la aplicación de las ecuaciones del método FOD del IPCC.

El modelo mantiene un total actualizado de la cantidad de Compuesto Orgánico Degradable (COD) descompuesto en el sitio de eliminación que da cuenta de la cantidad depositada cada año y de la cantidad restante de los años anteriores. Con esto último, se calcula la cantidad de COD que se descompone en CH₄ y CO₂ cada año. En dicho modelo, se debe incluir información generada en el país sobre datos de actividad y parámetros específicos. Sin embargo, en caso no se posea dicha información, como es el caso de Perú, el modelo permite escoger los valores por defecto dados por las Directrices del IPCC de 2006. Finalmente, con todos los datos ingresados al modelo, éste calcula la cantidad de CH₄ generada a partir del carbono orgánico disuelto depositado (COD_m) y resta el CH₄ recuperado y el CH₄ oxidado en el material de cobertura y produce como resultado la cantidad de CH₄ emitido.

Las ecuaciones de las Directrices del IPCC de 2006, que el modelo aplica para el método FOD son las siguientes:

- **Emisiones de CH₄ procedentes de los sitios de disposición final de desechos sólidos**

Ecuación N°1 Emisiones de CH₄ procedentes de los sitios de disposición final de desechos sólidos

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum CH_4\ generado_{x,T} - R_T \infty \bullet (1 -$$

Donde:

Emisiones de CH₄ = CH₄ emitido durante el año T (Gg/año)

x = categoría o tipo de desecho y/o material

R_T = CH₄ recuperado durante el año T (Gg/año)

OX_T = factor de oxidación durante el año T (fracción)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Ecuación 3.1, Pág. 3.8

- **Carbono Orgánico Disuelto**

El Carbono Orgánico Disuelto (COD) es la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaeróbicas en los sitios de disposición final de desechos sólidos.

Ecuación N°2 Carbono orgánico disuelto

$$COD_m = W \bullet COD \bullet COD_f \bullet FCM$$

Donde:

COD_m = cantidad de carbono orgánico disuelto depositado (Gg)

W = cantidad de desechos sólidos depositados, Gg

COD = fracción de carbono orgánico disuelto contenido en los desechos sólidos depositados (Gg de C/Gg de desechos)

COD_f = fracción de carbono orgánico disuelto que se descompone bajo condiciones anaeróbicas (fracción)

FCM = factor de corrección de metano para la descomposición aeróbica durante el año de deposición (fracción)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Ecuación 3.2, Pág. 3.9.

- **Potencial de generación de metano (Lo)**

Ecuación N°3 Potencial de generación de CH₄

$$L_o = DDOC_m \bullet F \bullet 16 / 12$$

Donde:

Lo = potencial de generación de CH₄, Gg de CH₄

COD_m = cantidad de carbono orgánico disuelto depositado (Gg)

F = fracción de CH₄ en el gas de vertedero generado (fracción de volumen)

16/12 = cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Ecuación 3.3, Pág. 3.9

- **COD_m acumulado en los sitios de disposición final al término del año T**

Este valor compone un elemento de la composición de primer orden para el cálculo de este valor se utilizan las ecuaciones 3.4 y 3.5 de las Directrices del IPCC de 2006:

Ecuación N°4 Potencial de generación de CH₄

$$COD_{mT} = COD_{mT} + (COD_{mT-1} \bullet e^{-k})$$

Ecuación N°5 Potencial de generación de CH₄

$$CODm_{descomp_T} = CODmat_{T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

Donde:

T = año del inventario

CODmat = CODm acumulado en los sitios de disposición final al final del año T (Gg)

CODmat-1 = CODm acumulado en los sitios de disposición final al final del año T-1 (Gg)

CODmdt = CODm depositado en los sitios de disposición final durante el año T (Gg)

CODm descompt (Gg)

K = constante de reacción, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (años⁻¹)

t_{1/2} = vida media (años)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Ecuaciones 3.4 y 3.5, Pág. 3.9

- **CH₄ generado a partir del CODm disuelto**

Con el fin de determinar la cantidad CH₄ que se forma a partir del material que puede descomponerse se aplica la siguiente ecuación de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación N°6 Potencial de generación de CH₄

$$CH_{4\text{generado}_T} = DDOCm_{descomp_T} \cdot F \cdot 16 / 12$$

Donde:

CH₄ generado_T = cantidad CH₄ generado a partir del material en descomposición

CODm descompt (Gg)

F = fracción volumétrica de CH₄ en el gas de vertedero generado (fracción)

16/12 = cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Ecuación 3.6, Pág. 3.10.

6.1.2. Datos de actividad

La siguiente tabla presenta la información utilizada para estimar las emisiones de metano generadas por la disposición final de desechos sólidos.

Tabla N°9 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4A – Nivel 1

Clasificación	Fuente de emisión	Definición Directrices del IPCC de 2006	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Fuente de información	Uso de la información		
4	4A	Eliminación de desechos sólidos	Generación de residuos sólidos totales	Desechos	Proyección de Población total, urbana y rural	Personas	(1) INEI - Series Nacionales Disponible en http://webapp.inei.gob.pe:8443/sirtod-series/ y en el archivo "Población total INEI Series Nacionales.xls"	Permite conocer la cantidad de residuos sólidos generados a nivel nacional.	
							(2) INEI PERÚ: POBLACIÓN TOTAL AL 30 DE JUNIO, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2000-2015. Disponible en el archivo "Población total 2000 - 2015.xls"		
							(3) Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (DGRS) a partir de archivos de población proporcionada por el INEI para elaborar estadísticas de la gestión de residuos sólidos en el Perú. Disponible en el archivo "Población total, urbana y rural 2014 - 2019.xls"		
							(1) Archivo: GPC - Generación RS 2014 - 2019.xls		Permite conocer que se está abarcando el 100% de residuos sólidos en las diferentes gestiones.
							(2) Archivo: Disposición final 2014 - 2019.xls		
(3) Carpeta: MINAM-Valorización de RS Municipales 2014 - 2020									
(4) Archivo: RAGEI_4C2_Incineración-de-residuos-sólidos-2019.xls									
Generación per cápita anual	kg/hab/año	Archivo: GPC - Generación RS 2014 - 2019.xls	Determina la cantidad anual de RSU generados junto con la población urbana determinada para el año RAGEI.						
Composición de desechos	% según tipo de residuo	(1) NAMA Residuos Sólidos, 2014 - NAMA RS GHG_BAU_Peru_final_GWP_25.xls (2) Ministerio del Ambiente - Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, archivos Excel de Composición RRSS Municipales de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Disponible en el archivo Composición 2014 - 2019.xls"	Determina la cantidad de carbono presente en cada tipo de residuos.						
Reducción de emisiones de GEI en rellenos sanitarios del Perú	GgCO ₂ eq	Información proporcionada por PETRAMAS a la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos	Las emisiones reducidas se restan del total calculado.						

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

A continuación, se describe las consideraciones de la información mencionada en la tabla anterior:

a) Población total de 1950 – 2019

Las estimaciones del RAGEI 2019 se basan en la generación total de residuos sólidos a nivel nacional, es decir abarcan tanto zonas urbanas como rurales. Es por ello, que el dato utilizado es la población total.

De acuerdo con el método FOD del IPCC se requiere información de población total desde el año 1950. Para ello el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) es la entidad nacional que brinda información oficial sobre proyecciones y estimaciones de la población total, urbana y rural a nivel nacional y es la principal fuente de información para el RAGEI.

La información de población total de 1950 a 1999 se tomó de las proyecciones de población del INEI publicadas en las series nacionales. Los datos de población total de los años 2000 al 2013 fueron tomados también del INEI, pero de estimaciones más recientes que representan una mejor aproximación basada en los censos nacionales y por último la población total de los años 2014 al 2019 se tomó de la información proporcionada por el INEI a la DGRS – MINAM quien solicitó esta información con el objetivo de elaborar las estadísticas nacionales de la gestión de los residuos sólidos.

Dichos documentos se pueden encontrar en la carpeta de sustentos del presente RAGEI.

b) Distribución de la cantidad de residuos sólidos municipales y no municipales de acuerdo con su gestión

La distribución de la cantidad de residuos sólidos municipales y no municipales de acuerdo con su gestión permite asegurar que el 100% de los residuos sólidos generados hayan sido considerados en las categorías que comprenden el presente RAGEI. Ver Tabla N°1.

c) Generación per cápita de desechos sólidos municipales

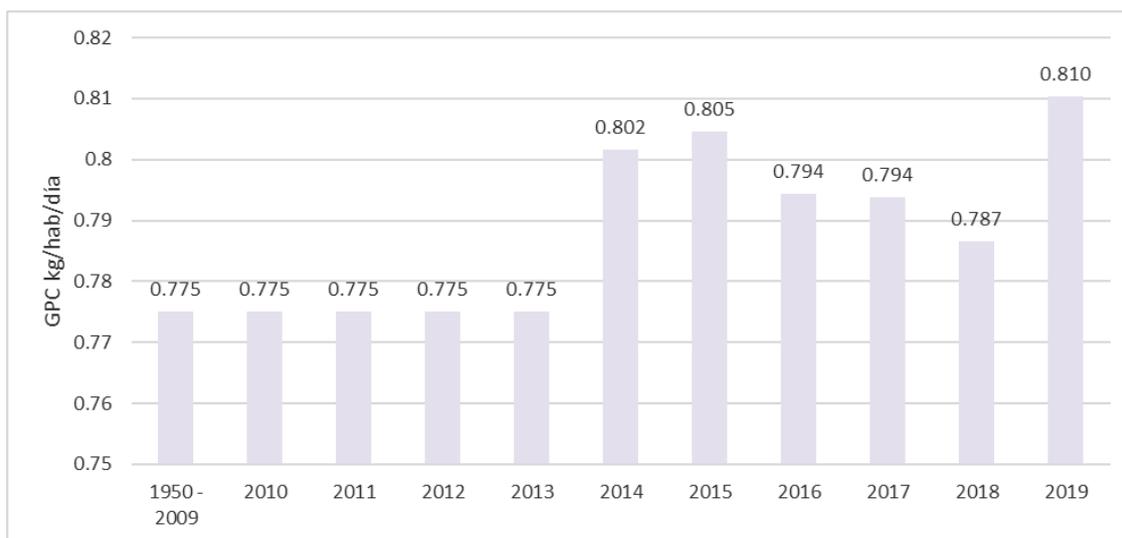
La generación per cápita de residuos sólidos municipales fue proporcionada por la DGRS. En la Tabla N° 10 y Figura N° 5, se puede apreciar la evolución para el periodo 1950 – 2019.

Tabla N°10 Generación per cápita de desechos sólidos municipales

Año	GPC (kg/hab/día)
1950 - 2013	0.775
2014	0.802
2015	0.805
2016	0.794
2017	0.794
2018	0.787
2019	0.810

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Figura N°7 Evolución de la generación per cápita de desechos sólidos municipales



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Como se puede observar en el gráfico anterior, la GPC se ha incrementado con el paso de los años, esto debido al nivel de consumo de los habitantes.

El SIGERSOL recolecta información sobre la gestión de los residuos sólidos municipales a nivel nacional desde el año 2009 en adelante. Sin embargo, es a partir del 2014 que recolecta más información, los datos de GPC son más completos y comparables año a año, todo ello debido a que los registros en el SIGERSOL se incrementaron llegando a un promedio de 750 reportes anuales y a que la DGRS definió la metodología para la estimación del GPC y composición de residuos sólidos a nivel nacional, la cual se viene utilizando hasta la actualidad.

Dado que no se cuenta con información precisa sobre la gestión de los residuos sólidos municipales a nivel nacional desde el año 1950 al 2013, la DGRS clasificó mediante Juicio de Experto que el dato de GPC a considerar para ese periodo es de 0.775 kg/hab/día siendo un valor conservador.

d) Composición de desechos:

La DGRS posee una base de datos sobre la composición de desechos a nivel nacional desde el año 2010 en adelante a partir del funcionamiento del SIGERSOL, siendo los datos de mejor calidad a partir del año 2015 por lo siguiente: i) la cantidad de reportes presentado por los municipios al SIGERSOL, ii) los procedimientos de control de calidad para corregir la información errada; y iii) la aplicación de una metodología que permite completar la información faltante.

La información de la composición de desechos sólidos para el periodo 1950 al 2009 ha sido tomada de la herramienta de cálculo de emisiones de GEI del tratamiento de residuos sólidos municipales en Perú, desarrollada en el marco de la NAMA de Residuos Sólidos en el año 2014.

La información de composición del 2010 al 2014 ha sido estimada utilizando la técnica de interpolación.

Finalmente, la información de composición de los años 2015 al 2019 proviene de las bases de

datos de la DGRS a partir de la información recabada en el SIGERSOL.

Tabla N°11 Composición de residuos sólidos municipales para el año 2019

Año	Alimentos	Jardín	Papel	Madera	Textiles	Residuos Sanitarios	Plásticos y otros inertes	Total
	%	%	%	%	%	%	%	(=100%)
2019	51%	4%	9%	0%	1%	9%	27%	100%

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

e) Reducción de emisiones de GEI en rellenos sanitarios del Perú:

En cuanto a las reducciones de emisiones de GEI logradas por rellenos sanitarios, en el país se tienen dos casos exitosos que desde el año 2007 reciben los beneficios del mercado de carbono y se encuentran operativos.

Los dos proyectos, registrados en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto son: El Relleno Sanitario de Huaycoloro y el Relleno Sanitario Modelo del Callao. Ambos rellenos sanitarios cuentan con reportes de monitoreo que han sido verificados por una Entidad Operacional Designada (entidades aprobadas por la CMNUCC) con el fin de certificar sus reducciones de emisiones de GEI.

La información de la reducción de emisiones de GEI fue proporcionada directamente por la empresa PETRAMAS quienes son operadores de estos rellenos sanitarios.

6.1.3. Factores de emisión y de conversión

Los factores de emisión y de conversión aplicados corresponden a los valores por defecto del IPCC que se listan en la siguiente tabla.

Tabla N°12 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la categoría 4A

Clasificación	Fuente de emisión	Factor de conversión	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información
4A	Desechos			
	Eliminación dedesechos sólidos	Factor de Corrección de Metano	varios	Directrices del IPCC de2006, Volumen 5, Capítulo 3, Pág. 3.15
		Fracción de Carbono Orgánico Degradable(COD)	varios	Directrices del IPCC de2006, Volumen 5, Capítulo 3, Pág. 3.14
		Fracción del Carbono Orgánico Degradableque se descompone (CODf)	0.5	Directrices del IPCC de2006, Volumen 5, Capítulo 3, Pág. 3.14
		Fracción de CH ₄ en el gas de vertedero	0.5	Directrices del IPCC de2006, Volumen 5, Capítulo 3, Pág. 3.16
	Factor de oxidación (OX)	0	Directrices del IPCC de2006, Volumen 5, Capítulo 3, Pág. 3.17	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Todos estos valores por defecto dados por las Directrices del IPCC de 2006 han sido aplicados en el “Modelo de desechos del IPCC” y se mantuvieron constantes para la serie 1994 – 2019.

6.1.4. Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre de la categoría 4A se ha realizado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006.

Tanto para los datos de actividad y factores de emisión, se han utilizado valores de incertidumbre por defecto, dado que no se ha implementado un procedimiento de juicio de expertos para determinar valores nacionales.

A continuación, se presenta los valores por defecto utilizados:

Tabla N°13 Valores de incertidumbre para los datos de actividad

Clasificación	Subcategoría	Dato de Actividad	Incertidumbre	Fuente
4A	Eliminación de desechos sólidos	Total de los Desechos sólidos municipales (MSWT)	30%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Fracción del MSWT enviado a los SEDS (MSWF)	30%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Incertidumbre total de la composición de los desechos	30%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Recuperación de metano (R)	50%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
Incertidumbre combinada			72.11%	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

La incertidumbre de los datos sobre el nivel de actividad está asociada a las incertidumbres del total de desechos sólidos municipales, la fracción de estos, la incertidumbre total de la composición de los desechos y la recuperación de metano. Se realizó la combinación de incertidumbre aplicando la Ecuación 3.1 de las Directrices del IPCC de 2006, y se obtuvo un valor de 72.11% para la incertidumbre del dato de actividad de esta categoría.

Tabla N°14 Valores de incertidumbre para los factores de emisión

Clasificación	Fuente	Factor de Emisión	Incertidumbre	Fuente
4A	Eliminación de desechos sólidos	Carbono orgánico degradable (DOC)	20%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOCf)	20%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Factor de corrección para el metano (MCF): 0.5 / 0.6	20% / 60%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
		Fracción de CH ₄ en el gas de vertedero generado (F) = 0,5	5%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.5
Incertidumbre combinada			69.46%	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Asimismo, la incertidumbre del factor de emisión se obtuvo de la combinación de las incertidumbres del carbono orgánico degradable, fracción del carbono orgánico que se descompone, el factor de corrección para el metano y la fracción de metano en el gas de vertedero generado. Se realizó la combinación de incertidumbre y se obtuvo un valor de 69.46% para la incertidumbre combinada del factor de emisión de esta categoría.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de la categoría 4A Eliminación de desechos sólidos en el año 2019 es igual a $\pm 100.12\%$, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones de esta fuente es igual a $\pm 101.98\%$, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°15 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la categoría Eliminación de desechos sólidos

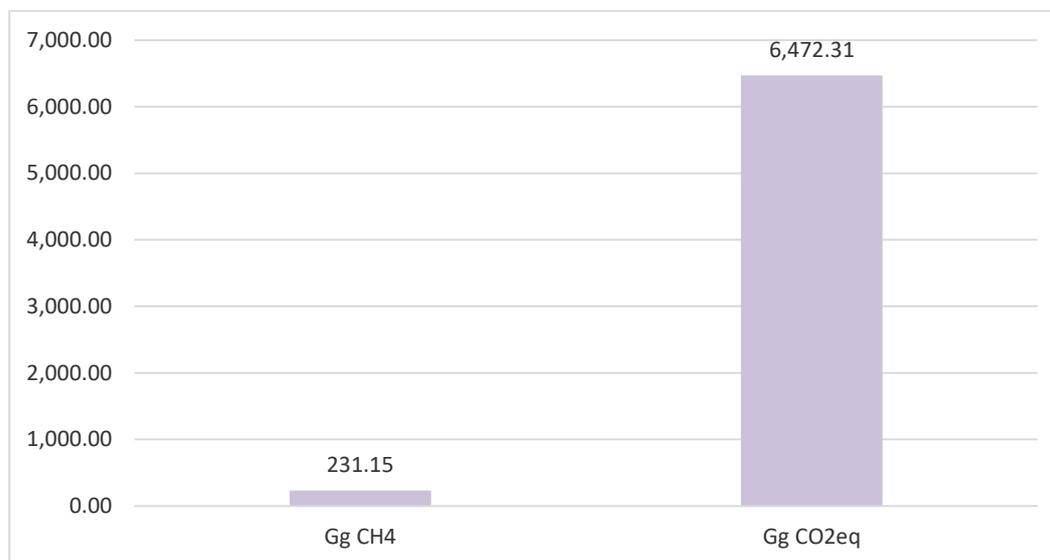
Clasificación	Categoría de IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\sqrt{K^2 + L^2}$
			%	%	%	%
4	Desechos					
4A	Emisiones de metano	CH ₄	72.11%	69.46%	$\pm 100.12\%$	$\pm 101.98\%$

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.1.5. Análisis de resultados

Aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, en el año 2019 las emisiones de metano generadas por la categoría 4A: Eliminación de desechos sólidos fueron 231.15 Gg de CH₄, que equivale a 6,472.31 GgCO₂eq.

Figura N°8 Emisiones de metano generadas por la categoría 4A

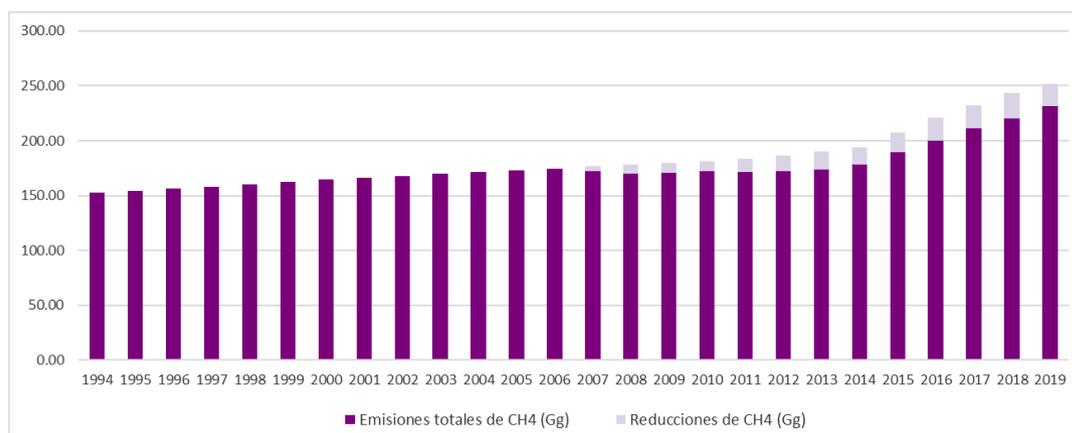


Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.1.6. Actualización de la serie temporal

El RAGEI 2019 presenta una serie temporal de las emisiones de GEI desde el año 1994 al 2019, estimadas con la misma metodología y fuentes de información, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura N°9 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4A



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

De la figura anterior, se observa que las emisiones de GEI tienen una tendencia creciente en línea con el crecimiento de la población del país, sin embargo, a partir del año 2007 se refleja el impacto de las reducciones de emisiones logradas por la operación de los rellenos sanitarios Huaycoloro y Modelo Callao.

Asimismo, se aprecia que las emisiones del año 2019 aumentaron en aproximadamente un 15.75% respecto al 2016 y en un 51.63% respecto al año 1994. Esta tendencia está relacionada al incremento poblacional y a la consecuente generación de desechos sólidos.

El incremento de las emisiones entre los años 1994-2019 es de 51.63%, mientras que la población creció un 34.97% en el mismo periodo. Las diferencias entre la tasa de crecimiento se deben al transcurso de tiempo requerido para la degradación de los desechos, que no refleja incrementos proporcionales.

6.1.7. Análisis de zonas climáticas en el Modelo de desechos del IPCC

Durante la elaboración del presente RAGEI, se realizó un ejercicio de calidad para analizar las diferencias obtenidas al utilizar diferentes zonas climáticas en el Modelo de desechos del IPCC, como se describe a continuación.

Debido a la sensibilidad de las condiciones de temperatura de los parámetros del Modelo de desechos del IPCC, para el cálculo de las emisiones de metano en la categoría 4A Eliminación de desechos sólidos, la selección de área climática es clave para la estimación apropiada. En Perú existen diferentes zonas climáticas, que son generalmente agrupadas en tres zonas: Costa, Sierra y Selva.

Los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 para el Tier 1/Tier 2 del Modelo de desechos del IPCC establecen las siguientes zonas climáticas:

Tabla N°16 Valores por defecto para zonas climáticas

Variable	Templado seco	Templado húmedo	Tropical seco	Tropical húmedo
Temperatura media (°C)	<20	<20	>20	>20
Precipitación (mm)	<1000	>1000	<1000	>1000

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 3, Cuadro 3.3.

Nota – Para las zonas climáticas templadas, la referencia de precipitación, en las Directrices del IPCC de 2006 se proporciona la ratio de temperatura media anual entre precipitación media anual.

El Modelo de desechos del IPCC realizado, para el presente RAGEI, está utilizando el clima templado húmedo ya que la mayoría de la población vive en la zona de la costa. Se valoró el posible cambio de templado húmedo a tropical seco, sin embargo, se consideró que las características del clima templado húmedo se adaptan mejor al clima de costa en general, y a Lima en particular. Así, se decide seguir utilizando el clima templado húmedo. Estos son los resultados del Modelo de desechos del IPCC utilizando los parámetros específicos para cada tipo de clima:

Tabla N°17 Resultados del modelo utilizando los parámetros específicos para cada tipo de clima

Emisiones	Templado seco	Templado húmedo	Tropical seco	Tropical húmedo
Emisiones CH ₄ (Gg)	183.84	231.15	200.36	257.75

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Si se realiza modelos diferenciados para las regiones de costa, sierra y selva, utilizando en el modelo la población atribuible a cada región, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla N°18 Resultados para tres modelos diferenciados por regiones

Emisiones	Sierra – Templado seco	Costa – Templado húmedo	Costa – Tropical seco	Selva – Tropical húmedo	Total
Opción 1 –Emisiones CH ₄ (Gg)	36.39	125.27	-	18.07	179.73
Opción 2 - Emisiones CH ₄ (Gg)	36.39	-	107.41	18.07	161.87

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Porcentaje de población por región natural: Costa 58%, Sierra 28% y Selva 14% Fuente: SINIA (2017)

Nota opción 1 - Considerando: 58% población a templado húmedo – Costa; 28% población a Templado seco – Sierra; 14% población a Tropical húmedo – Selva. La recuperación de metano se le atribuye a la zona de la costa.

Nota opción 2- Considerando: 58% población a Tropical seco – Costa; 28% población a Templado seco – Sierra; 14% población a Tropical húmedo – Selva. La recuperación de metano se le atribuye a la zona de la costa.

Así, se comprueba que el valor utilizado considerando un solo clima templado húmedo a nivel nacional (231.15 Gg CH₄) es conservador comparado con realizar tres modelos distintos con tres zonas climáticas distintas específicas para las regiones sierra, costa y selva (179.73 Gg CH₄).

6.2. Categoría 4B: Tratamiento biológico de desechos sólidos

6.2.1. Método de cálculo

Según las Directrices del IPCC de 2006, la metodología de cálculo establece tres niveles de cálculo para la categoría 4B, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1 – Utiliza los factores de emisión por defecto del IPCC.
- Nivel 2 – Utilizan los factores de emisión específicos del país basados en mediciones representativas.
- Nivel 3 – Se basan en mediciones hechas en las instalaciones o específicas del sitio (continuas o periódicas).

Las Directrices del IPCC de 2006 no muestran un árbol de decisiones para elegir el método de cálculo para esta categoría, sin embargo, de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior se considera lo siguiente:

- A nivel nacional existe información sobre la cantidad de residuos sólidos orgánicos valorizados en las viviendas de las municipalidades que participan del Programa de

Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal. Ello se muestra en una cantidad total a nivel nacional a partir del año 2018 en adelante.

- No se cuenta con información específica de plantas de tratamiento de los residuos orgánicos.
- Respecto a los factores de emisión, no existen métodos específicos en el país basados en mediciones representativas que arrojen valores para ser utilizados.

Por ello, se sugiere estimar las emisiones de GEI de la Categoría 4B aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

- **Emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento biológico de desechos sólidos**

Las emisiones de metano (CH₄) se generan producto de la digestión anaeróbica de los desechos sólidos orgánicos y son estimadas mediante la siguiente ecuación.

Ecuación N°7 Emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento biológico de desechos sólidos

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = total de las emisiones de CH₄ durante el año del inventario (Gg/año)
 M_i = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, Gg
 EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g de CH₄/kg. de desechos tratados
 i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.
 R = cantidad total de CH₄ recuperado durante el año del inventario, Gg de CH₄.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 4, Ecuación 4.1, Pág. 4.5

- **Emisiones de N₂O procedentes del tratamiento biológicos de desechos sólidos**

Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) se generan producto de la elaboración de abonos orgánicos (compost) a partir de los desechos sólidos orgánicos y son estimadas mediante la siguiente ecuación.

Ecuación N°8 Emisiones de N₂O procedentes del tratamiento biológico de desechos sólidos

$$Emisiones\ de\ N_2O = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

- Emisiones de N₂O = total de las emisiones de N₂O durante el año del inventario (Gg/año)
 M_i = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, Gg
 EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g de N₂O/kg. de desechos tratados
 i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 4, Ecuación 4.2, Pág. 4.6

6.2.2. Datos de actividad

La siguiente tabla presenta la información utilizada para estimar las emisiones de metano y óxido nítrico generadas por el tratamiento biológico de desechos sólidos.

Tabla N°19 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4B – Nivel 1

Clasificación	Fuente de emisión	Definición Directrices del IPCC de 2006	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Fuente de información	Uso de la información
4	4B	Desechos					
		Tratamiento biológico de desechos sólidos.	Las emisiones de metano y de óxido nítrico provenientes de la preparación de abono orgánico y de la digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás dependen de factores tales como el tipo de desecho tratado, la cantidad y el tipo del material de soporte utilizado (como las astillas de madera (chips) y la turba), la temperatura, el contenido de humedad y la aeración durante el proceso.	Masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico	Cantidad de residuos sólidos orgánicos recuperados	t/año	DGRS - MINAM 2018 y 2019 Meta 3 del Programa de incentivos para la mejora de la gestión municipal. Disponible en el archivo Valorización 2014 - 2019.xls

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

A continuación, se describe las consideraciones de la información mencionada en la tabla anterior:

a) Cantidad de desechos sólidos sometidos a tratamiento biológico

La información sobre la cantidad de residuos sólidos recuperados se obtuvo del Programa de Incentivos para la mejora de la Gestión Municipal, la cual se encuentra disponible desde el año 2018 en adelante.

Al respecto, se considera que años previos al 2018 esta actividad no ha existido ya que no se tiene ninguna información que corrobore lo contrario.

Finalmente, de acuerdo con lo reportado en el Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal, el tratamiento que se le da a los residuos sólidos orgánicos recuperados es compostaje principalmente.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de residuos sólidos valorizados el 2018 y 2019.

Tabla N°20 Valorización de residuos sólidos

AÑO	Residuos Sólidos orgánicos valorizados (t/año)	Residuos Sólidos inorgánicos valorizados (t/año)	Valorización total (t/año)
2018	27,450.21	50,170.5264	77,620.7364
2019	27,174.3575	56,888.2005	84,062.558

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - MINAM

6.2.3. Factores de emisión y de conversión

Los factores de emisión y de conversión aplicados corresponden a los valores por defecto del IPCC que se listan en la siguiente tabla.

Tabla N°21 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la categoría 4A

Clasificación	Fuente de emisión	Factor de conversión	calculado (C)/ por defecto (D)	Fuente de información
4B	Desechos			
	Tratamiento biológico de desechos sólidos.	Factores de emisión de CH ₄ (g de CH ₄ /kg. de desechos tratados) sobre la base de peso húmedo para la preparación de abono orgánico (compost).	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 4: Tratamiento biológico de Desechos Sólidos. Cuadro 4.1 Pag 4.7
Factores de emisión de N ₂ O (g de N ₂ O/kg. de desechos tratados) sobre la base de peso húmedo para la preparación de abono orgánico (compost).		D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 4: Tratamiento biológico de Desechos Sólidos. Cuadro 4.1 Pag 4.7	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Todos estos valores por defecto dados por las Directrices del IPCC de 2006 han sido aplicados y se mantuvieron constantes para la serie 1994 – 2019.

6.2.4. Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre de la categoría 4B se ha realizado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006.

Tanto para los datos de actividad y factores de emisión, se han utilizado valores de incertidumbre por defecto, dado que no se ha implementado un procedimiento de juicio de expertos para determinar valores nacionales.

A continuación, se presenta los valores por defecto utilizados:

Tabla N°22 Valores de incertidumbre para los datos de actividad

Clasificación	Subcategoría	Dato de Actividad	Incertidumbre	Fuente
4B	Tratamiento biológico de desechos sólidos	Cantidad total anual tratado por instalaciones de tratamiento biológico	30%	Cuadro 3.5, Capítulo 3, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006
Incertidumbre			30%	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Tabla N°23 Valores de incertidumbre para los factores de emisión

Clasificación	Fuente	Factor de Emisión	Incertidumbre	Fuente
4B	Tratamiento biológico de desechos sólidos.	Factor de emisión (g de CH ₄ /kg. de desechos tratados)	99.625%	Cuadro 4.1, Capítulo 4, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006
		Factor de emisión (g de N ₂ O/kg. de desechos tratados)	99.000%	Cuadro 4.1, Capítulo 4, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre combinada de la categoría 4B

Tratamiento biológico de desechos sólidos de las emisiones de CH₄ y N₂O en el año 2019 es igual a ± 104.04% y 103.45%, respectivamente; mientras que la incertidumbre en el total es de 74.48%.

No se estimó la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones ya que se tiene información histórica únicamente desde el 2018 en adelante.

Tabla N°24 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la categoría 4B

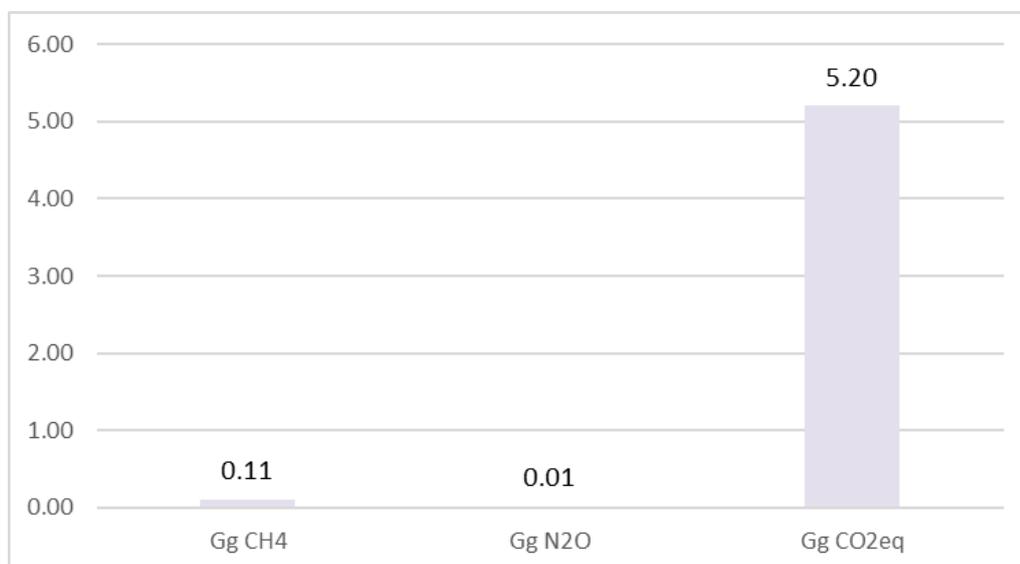
Clasificación	Categoría del IPCC	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2019	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Contribución a la Varianza por Categoría en el año 2019	
			Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{(E^2 + F^2)}$	$(G \cdot D)^2 / (\sum D)^2$	
			Gg CO ₂ eq	Gg CO ₂ eq	%	%	%	fracción	
4	4B	Desechos							
		Tratamiento biológico de los desechos sólidos	CH ₄		3.04	30.00%	99.63%	104.04%	37.03%
		Tratamiento biológico de los desechos sólidos	N ₂ O		2.16	30.00%	99.00%	103.45%	18.44%
	Total	CO₂eq	-	5.20				55%	
					Incertidumbre en el total			74.48%	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.2.5. Análisis de resultados

Aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, en el año 2019 las emisiones de metano y óxido nitroso generadas por la categoría 4B: Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos fueron 0.11 Gg de CH₄ y 0.01 Gg N₂O que equivalen a 5.20 GgCO₂eq.

Figura N°10 Emisiones de GEI generadas por la categoría 4B

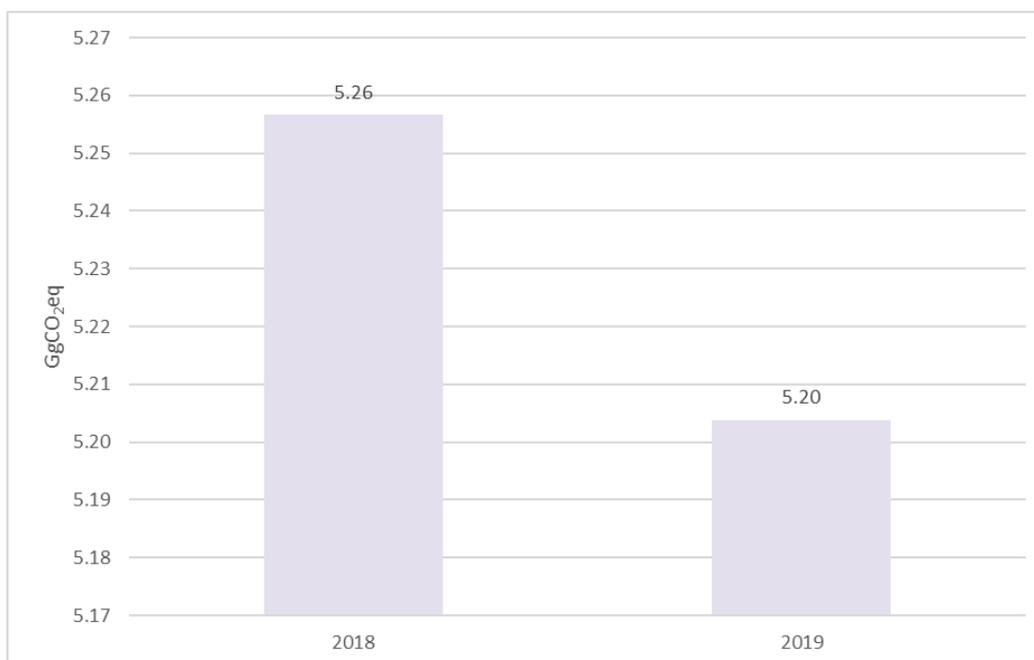


Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.2.6. Actualización de la serie temporal

El RAGEI 2019 presenta una serie temporal de las emisiones de GEI desde el año 2018 al 2019, estimadas con la misma metodología y fuentes de información, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura N°11 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4B



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

La serie temporal para esta categoría no considera la estimación de emisiones de GEI desde el año 1994 dado que, se tienen registros de esta actividad a partir del año 2018 y se considera que antes de dicho año, esta actividad no se consideraba una práctica común para los residuos sólidos orgánicos.

Se observa que las emisiones del 2019 han disminuido en un 1% respecto al año 2018, ello debido a que la cantidad de residuos sólidos orgánicos recuperados fue menor para el 2019.

6.3. Subcategoría 4C2: Incineración abierta de desechos

6.3.1. Método de cálculo

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, la categoría Incineración e Incineración abierta de desechos se divide en dos subcategorías: 4C1 Incineración y 4C2 Incineración abierta de desechos.

El presente RAGEI solo reporta la estimación de emisiones de la subcategoría 4C2 debido a que no se cuenta con información relacionada a la incineración controlada de desechos a nivel nacional.

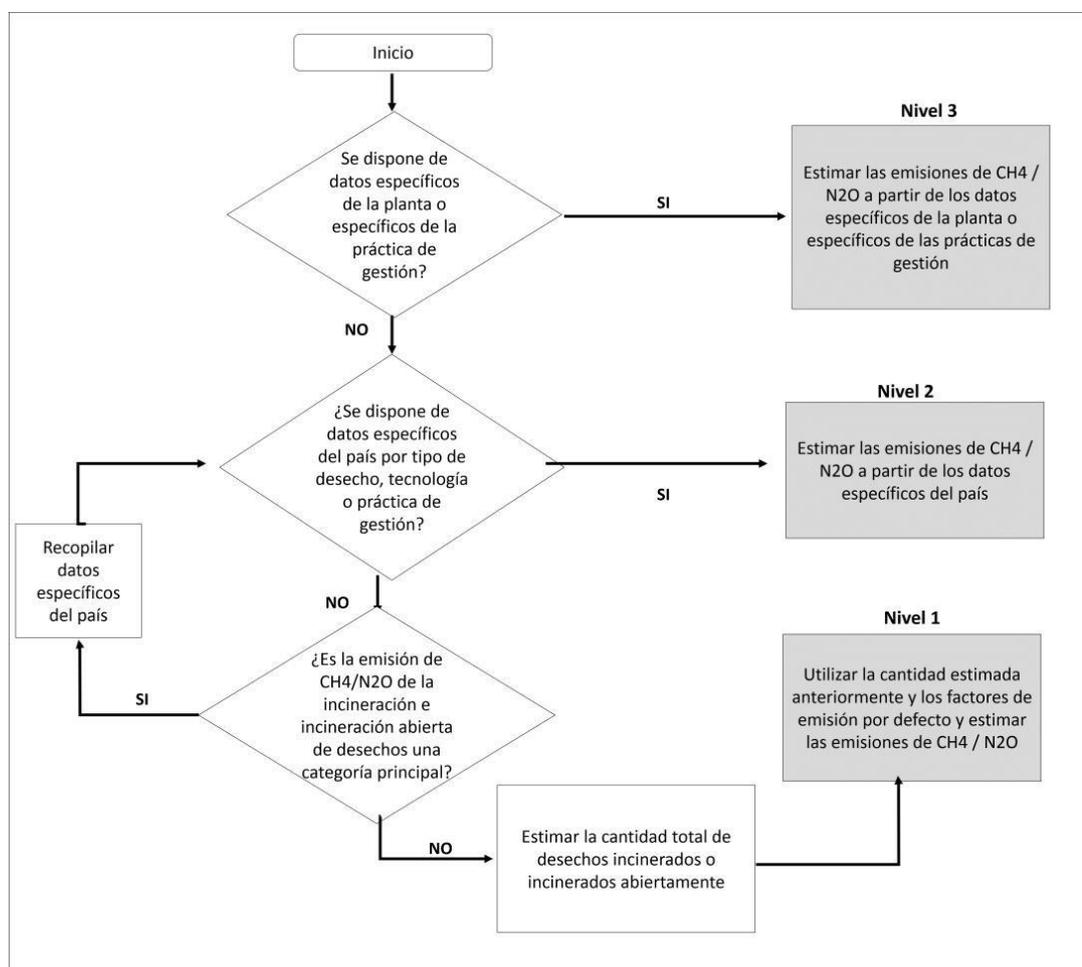
La metodología para estimar las emisiones de la subcategoría 4C2 establece tres niveles de cálculo, cuyas características se describen a continuación:

- Nivel 1 – Estima las emisiones a partir de cantidades de desechos incinerados y utiliza los valores por defecto de la metodología.
- Nivel 2 – Estima las emisiones a partir de cantidades de desechos incinerados y datos específicos del país.
- Nivel 3 – Estima las emisiones a partir de datos específicos por fuente de incineración.

Estimación de CH₄ y N₂O

La siguiente figura muestra el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema a cielo abierto de desechos de las Directrices del IPCC de 2006, el cual facilita la elección del nivel de cálculo para estimar estas emisiones.

Figura N°12 Árbol de decisión para las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la incineración abierta de desechos



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Figura 5.2, Pág. 5.12.

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- A nivel nacional se cuenta con información sobre la cantidad total de residuos sólidos incinerados
- No se cuenta con información específica del país, por tipo de desechos, tecnología o práctica de gestión.

Por lo anterior, el árbol de decisiones sugiere estimar las emisiones de metano y óxido

nitrosoaplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006.

Las ecuaciones de las Directrices del IPCC de 2006 aplicadas son las siguientes:

a) Emisiones de CH₄ basada en la entrada de desechos a la incineración

Ecuación N°9 Estimación de las emisiones de CH₄ basada en la cantidad total de desechos incinerados

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

IW_i = cantidad de desechos sólidos de tipo i incinerados o quemados por incineración abierta, Gg/año

EF_i = factor de emisión de CH₄ agregado, kg. de CH₄/Gg de desechos

10^{-6} = factor de conversión de kilogramos en gigagramos

i = categoría o tipo de desecho incinerado

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Ecuación 5.4, Pág.5.12.

b) Emisiones de N₂O basada en la entrada de desechos a la incineración

Los cálculos de las emisiones de N₂O se basan en la entrada de desechos a los incineradores o en la cantidad de desechos quemados por incineración abierta y en un factor de emisión por defecto:

Ecuación N°10 Estimación de emisiones de N₂O

$$Emisiones\ de\ N_2O = \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O durante el año del inventario, Gg/año

IW_i = cantidad de desechos de tipo i incinerados o quemados por incineración abierta, Gg/año

EF_i = factor de emisión de N₂O (kg. de N₂O/Gg de desechos) para desechos de tipo i

10^{-6} = factor de conversión de kilogramos en gigagramos

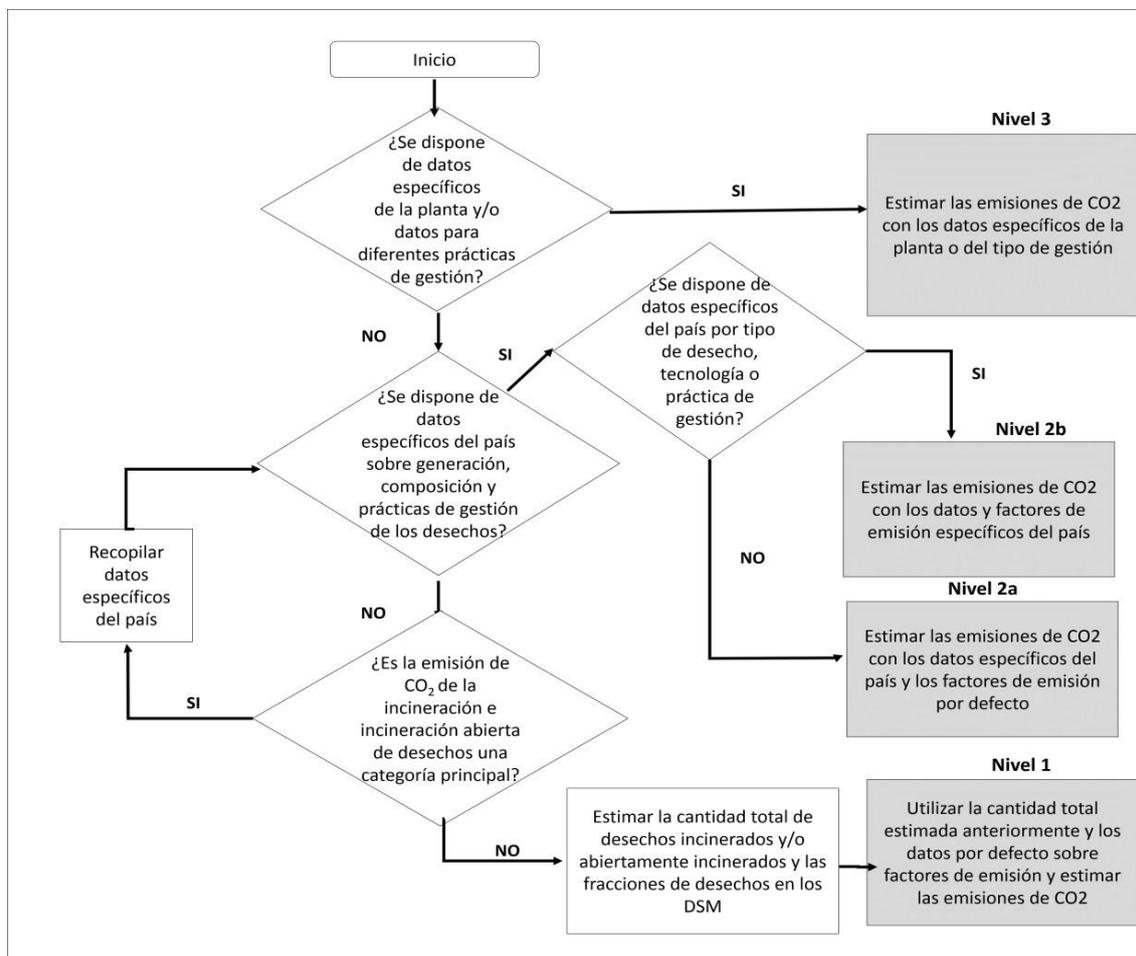
i = categoría o tipo de desecho incinerado

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Ecuación 5.5. Pág. 5.14.

Estimación de CO₂

La siguiente figura muestra el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO₂ procedentes de la quema a cielo abierto de desechos de las Directrices del IPCC de 2006 el cual facilita la elección del nivel de cálculo para estimar estas emisiones.

Figura N°13 Árbol de decisión para las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración abierta de desechos



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Figura 5.1, Pág. 5.9.

Para el análisis del árbol de decisiones se considera lo siguiente:

- A nivel nacional se cuenta con información sobre la cantidad total de residuos sólidos incinerados
- No se cuenta con información específica del país, por tipo de desechos, tecnología o práctica de gestión.

Por lo anterior, el árbol de decisiones sugiere estimar las emisiones de dióxido de carbono aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006.

Las ecuaciones de las Directrices del IPCC de 2006 aplicadas son las siguientes:

Emisiones de CO₂ basada en la entrada de desechos a la incineración

Ecuación N°11 Estimación de las emisiones de CO₂ basada en la cantidad total de desechos incinerados.

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum (A_{Li} \cdot CL_i \cdot OF_i) \cdot 44 / 12$$

Donde:

Emisiones = Emisiones de CO₂ provenientes de la incineración de desechos fósiles líquidos, Gg de CO₂

AL_i = cantidad de desechos fósiles líquidos de tipo i incinerados, Gg

CL_i = contenido de carbono de los desechos fósiles líquidos de tipo i incinerados, (fracción)

OF_i = factor de oxidación para los desechos fósiles líquidos de tipo i, (fracción)

44/12 = factor de conversión de C en CO₂

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Capítulo 5, Ecuación 5.3, Pág. 5.10.

Es importante señalar que para la contabilización de las emisiones de CO₂ solo se están considerando fuentes fósiles y no biogénicas. Este detalle se puede observar en la planilla de cálculo en la hoja "IP Total de RRSS Incinerados".

Ecuaciones para datos de actividad

a) Cantidad de desechos incinerados abiertamente

La cantidad de desechos quemados por incineración abierta es el dato más importante de la actividad para estimar las emisiones provenientes de la incineración abierta de desechos y se estima mediante la ecuación 5.7 de las Directrices del IPCC de 2006:

Ecuación N°12 Cantidad total de desechos sólidos municipales incinerados abiertamente

$$DSMB = P \cdot P_{frac} \cdot DSM_P \cdot B_{frac} \cdot 365 \cdot 10^{-6}$$

Donde:

DSM_B = cantidad total de desechos sólidos municipales quemados por incineración abierta, Gg/año

P = población

P_{frac} = fracción de la población que quema desechos, (fracción)

DSM_P = generación de desechos per cápita, kg. de desechos/cápita/día

B_{frac} = fracción de la cantidad de desechos que se quema respecto de la cantidad total de desechos tratados, (fracción)

365 = cantidad de días en el año

10⁻⁶ = factor de conversión de kilogramos en giga gramos

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Capítulo 5, p. 5.16. Ecuación 5.7

b) Contenido de materia seca

Es necesario hacer una importante distinción entre el peso en seco y el peso húmedo de los desechos, pues el contenido de agua en los desechos puede ser sustancial. Por lo tanto, el contenido de materia seca de los desechos o la fracción de desechos es un parámetro importante que hay que determinar. Se utiliza la ecuación 5.8 de las Directrices del IPCC de 2006:

Ecuación N°13 Contenido de materia seca en los residuos

$$dm = \sum (WF_i \cdot dm_i)$$

Donde:

dm = contenido total de materia seca en los RSM

WF_i = fracción del componente i en los RSM

dm_i = contenido de materia seca en el componente i
 16/12 = cociente de pesos moleculares CH₄/C (cociente)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Capítulo 5, p. 5.19. Ecuación 5.8

6.3.2. Datos de actividad

La siguiente tabla presenta la información utilizada para estimar las emisiones de metanogeneradas por la disposición final de desechos sólidos.

Tabla N°25 Datos de actividad considerados en la metodología de cálculo 4C2 – Nivel 1

Clasificación	Fuente de emisión	Definición IPCC	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Fuente de información
Desechos						
4C2	Incineración abierta de desechos	Combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna.	Cantidad total de desechos sólidos de tipo i (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta	Cantidad de Residuos Sólidos Incinerados a Cielo Abierto	Gg/año	Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - Ministerio del Ambiente. Disponible en la Carpeta "GPC y composición Rural"
				Población total, urbana y rural	Habitantes	(1) INEI - Series Nacionales Disponible en http://webapp.inei.gob.pe:8443/sirtod-series/ y en el archivo "Población total INEI Series Nacionales.xls" (2) INEI PERÚ: POBLACIÓN TOTAL AL 30 DE JUNIO, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2000-2015. Disponible en el archivo "Población total 2000 - 2015.xls" (3) Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (DGRS) a partir de archivos de población proporcionados por el INEI para elaborar estadísticas de la gestión de residuos sólidos en el Perú. Disponible en el archivo "Población total, urbana y rural 2014 - 2019.xls"
				Generación per cápita rural según distrito y región geográfica	kg/hab/día	Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - Ministerio del Ambiente. Disponible en la Carpeta "GPC y composición Rural"
				Composición de desechos	% según tipo de residuo	
				Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos	-	DGRS MINAM. Sitios de Disposición Final de residuos sólidos. Disponible en la carpeta Disposición Final

Clasificación	Fuente de emisión	Definición IPCC	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Fuente de información
				Fracción de la población que quema desechos	-	Valor calculado en base a la Base de datos proporcionada por MINAM.

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

A continuación, se describe las consideraciones de la información mencionada en la tabla anterior:

a) Población

La generación de residuos sólidos rural está directamente relacionada con la población. Para el caso de incineración abierta, se asume que la incineración de los residuos sólidos es una práctica común de la población rural, debido a que no cuentan con un servicio de recolección eficiente. Por lo tanto, para esta subcategoría, la población rural es el dato de actividad utilizado en las estimaciones.

El INEI reporta información sobre población rural para la serie 1994 – 2019.

b) Cantidad de residuos sólidos incinerados a cielo abierto

La DGRS del MINAM registra información sobre la generación per cápita rural a partir del año 2015, en adelante. En base a esta información y a la población rural, se estimó la generación de desechos sólidos en zonas rurales, sin servicio de recolección.

Las tasas de generación per cápita (GPC) promedio de las zonas rurales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°26 GPC promedio rural

Año	GPC promedio (kg/hab/día)
2015	0.46
2016	0.42
2017	0.45
2018	0.46
2019	0.47

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

La tasa de generación utilizada es específica para el área rural, y existen por tanto diferencias entre los valores utilizados en las categorías 4A (total nacional) y 4C2 (exclusivamente rural).

A las cantidades de desechos generadas por la población rural se le descontó el porcentaje de desechos reutilizados¹⁴. El total generado sustrayendo las cantidades reutilizadas nos permite obtener las cantidades de desechos quemados a cielo abierto. Utilizando información sobre la composición de desechos (véase tabla más abajo), se obtiene el total incinerado por tipo de desecho.

Esta información fue proporcionada para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 ya que se posee mayor cantidad de información en el SIGERSOL. La información de los años 1994 al 2014 fue considerada igual que la del año 2015, esto último debido a que la cantidad de

¹⁴ Se considera que los residuos sólidos orgánicos son destinados a los animales como alimento y los restos de follaje y madera son aprovechados como leña. Ello debido a que es una práctica común en las zonas rurales del Perú.

residuos quemados no suele relacionarse bien con ninguna variable para utilizar datos sustitutos o proxis.

Tabla N°27 Total de residuos sólidos incinerados (Gg/año)

Año	Total de residuos incinerados considerados en el cálculo (Gg)
1994-2014	78.1
2015	78.1
2016	63.6
2017	10.4
2018	8.3
2019	8.8

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

c) Composición de desechos

La DGRS posee una base de datos sobre la composición de desechos a nivel nacional desde el año 2010 en adelante, siendo los datos de mejor calidad a partir del año 2015 por lo siguiente: i) la cantidad de reportes presentado por los municipios al SIGERSOL, ii) los procedimientos de control de calidad para corregir la información errada; y iii) la aplicación de una metodología que permite completar la información faltante.

En la siguiente tabla se muestra la composición de desechos sólidos municipales para zonas rurales del año 2019. Cabe resaltar que la composición de desechos sólidos varía de acuerdo con la información que se registra anualmente en el SIGERSOL.

Tabla N°28 Composición de desechos sólidos en zonas rurales

Tipo de residuo sólido	%	Tipo de residuo sólido	%	Tipo de residuo sólido	%
Residuos de alimentos	45.40%	Otros (vidrio de ventana)	0.45%	Otros Metales	0.31%
Residuos de maleza y poda	5.27%	PET	2.53%	Textiles (telas)	1.02%
Otros orgánicos	5.09%	PEAD	1.21%	Caucho, cuero, jebe	0.51%
Papel Blanco	1.77%	PEBD	1.13%	Bolsas plásticas de un solo uso	3.84%
Papel Periódico	1.07%	PP	0.97%	Residuos sanitarios	6.84%
Papel Mixto	1.33%	PS	0.66%	Pilas	0.35%
Cartón Blanco (liso y cartulina)	0.81%	PVC	0.34%	Tecnopor (poliestireno expandido)	0.88%
Cartón Marrón (Corrugado)	1.60%	Tetra brik (envases multicapa)	0.36%	Residuos inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos, entre otros)	6.64%
Cartón Mixto	1.03%	Latas (latas de leche, atún, entre otros)	2.21%	Restos de medicamentos	0.41%
Vidrio Transparente	1.61%	Metales Ferrosos (Acero + fierro)	0.80%	Envolturas de snacks, galletas, caramelos, entre otros	0.94%
Vidrio de otros colores	1.01%	Aluminio	0.39%	Otros residuos no categorizados	1.23%

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Esta información fue proporcionada para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. La información de los años 1994 al 2014 se fijó constante el valor más reciente disponible de la serie, es decir del año 2015. Esto último debido a que la composición de los residuos sólidos

no suele relacionarse bien con ninguna variable para utilizar datos sustitutos o proxis.

Cabe resaltar que esta composición de desechos sólidos en zonas rurales permitió conocer la cantidad de materia orgánica generada y la cantidad de madera y follaje generado. Al respecto, se asumió que la materia orgánica generada era utilizada como alimento a los animales mientras que la madera y follaje generado eran quemadas como leña, dado que se considera que es unapráctica común a nivel nacional en zonas rurales.

d) Sitios de disposición final de residuos sólidos

Para aquellos distritos que no se tenía certeza de la existencia de un sitio de disposición final (relleno sanitario o botadero), se asumió que éstos incineraban sus desechos sólidos.

La DGRS – MINAM posee información de los sitios de disposición final de residuos sólidos para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 y ésta fue utilizada para la identificación de los distritos que poseen sitios de disposición cercanos de los cuales se asumió que no tienen la necesidad de incinerar los residuos sólidos por lo que fueron separados del cálculo.

e) Fracción de la población que quema residuos (P-Frac)

Esta información fue estimada para toda la serie utilizando la población total rural y la población que incinera residuos sólidos, la cual se estimó mediante la información proporcionada por la DGRS del MINAM para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. La información de la población que incinera residuos sólidos para los años 1994 al 2014 fue considerada constante tomando como valor el dato para el año 2015.

Tabla N°29 Fracción de la población que quema residuos

Año	Población rural	Población que quema residuos	Fracción de población que quema residuos (P-Frac)
1994	7,601,055	1,338,060	0.18
1995	7,740,578	1,338,060	0.17
1996	7,883,180	1,338,060	0.17
1997	8,028,812	1,338,060	0.17
1998	8,171,716	1,338,060	0.16
1999	8,306,125	1,338,060	0.16
2000	8,296,469	1,338,060	0.16
2001	8,253,618	1,338,060	0.16
2002	8,204,677	1,338,060	0.16
2003	8,150,348	1,338,060	0.16
2004	8,091,291	1,338,060	0.17
2005	8,028,132	1,338,060	0.17
2006	7,960,125	1,338,060	0.17
2007	7,887,301	1,338,060	0.17
2008	7,811,335	1,338,060	0.17
2009	7,733,791	1,338,060	0.17
2010	7,656,096	1,338,060	0.17
2011	7,578,493	1,338,060	0.18
2012	7,500,133	1,338,060	0.18
2013	7,420,750	1,338,060	0.18

2014	7,212,165	1,338,060	0.19
2015	7,272,551	1,338,060	0.18
2016	7,328,925	1,096,700	0.15
2017	7,370,433	168,797	0.02
2018	5,643,131	130,246	0.02
2019	5,820,300	131,796	0.02

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.3.3. Factores de emisión y de conversión

Los factores de emisión y de conversión aplicados corresponden a los valores por defecto del IPCC que se listan en la siguiente tabla.

Tabla N°30 Factores de emisión utilizados para estimación de emisiones de la subcategoría 4C2

Clasificación	Fuente de emisión	Factor de conversión	Calculado (C)/ Defecto (D)	Fuente de información
4C2	Desechos			
	Incineración abierta de desechos	Contenido de materia seca en los desechos (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta, (fracción)	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 2: Datos de generación, composición y gestión de desechos Cuadro 2.4 Pág. 2.15
		Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total), (fracción)	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 2: Datos de generación, composición y gestión de desechos Cuadro 2.4 Pág. 2.15
		Fracción de carbono fósil en el carbono total, (fracción)	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 2: Datos de generación, composición y gestión de desechos Cuadro 2.4 Pág. 2.15
		Factor de oxidación, (fracción)	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos Cuadro 5.2 Pág. 5.20
		Factor de emisión de CH ₄ agregado, kg. de CH ₄ /Gg de desechos	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos. Factores de emisión de CH ₄ – Pág. 5.22
Factor de emisión de N ₂ O (kg. de N ₂ O/Gg de desechos)	D	Directrices del IPCC de 2006. Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos. Cuadro 5.6- Pág. 5.24		

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Estos datos se mantienen constantes para la serie 1994 – 2019.

6.3.4. Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre de la subcategoría 4C2 Incineración abierta de desechos se ha realizado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006.

Tanto para los datos de actividad y factores de emisión, se han utilizado valores de incertidumbre por defecto, dado que no se ha implementado un procedimiento de juicio de expertos para determinar valores nacionales. A continuación, se presenta los valores por defecto utilizados:

Tabla N°31 Valores de incertidumbre para los datos de actividad

Clasificación	Fuente	Dato de Actividad	Incertidumbre	Fuente
4C2	Incineración abierta de desechos	Población Humana	5%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Cuadro 6.7
		Incertidumbre contenida en materia seca	50%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Sección 5.7.2
		Incertidumbre de población que quema residuos	100%	Supuesto
Incertidumbre combinada			111.92%	

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

La incertidumbre de los datos sobre el nivel de actividad está asociada a las incertidumbres de la población, incertidumbre del contenido de materia seca y la incertidumbre de población que quema residuos. Se realizó la combinación de incertidumbre aplicando la Ecuación 3.1 de las Directrices del IPCC de 2006, y se obtuvo un valor de 111.92% para la incertidumbre del dato de actividad de esta subcategoría.

Tabla N°32 Valores de incertidumbre para los factores de emisión

Clasificación	Fuente	Factor de emisión	Incertidumbre	Fuente
4C2	Incineración abierta de desechos	CO ₂	40%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Sección 5.7.1
		N ₂ O	100%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Sección 5.7.1
		CH ₄	100%	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 5, Sección 5.7.1

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Asimismo, para la incertidumbre del factor de emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso se tomaron los valores de 40%, 100% y 100%, respectivamente, valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006.

Los resultados obtenidos de la subcategoría 4C2 Incineración abierta de desechos, indican que la incertidumbre combinada de las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en el año 2019 es igual a $\pm 118.85%$, $\pm 150.08%$ y $\pm 150.08%$, respectivamente, mientras que la incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones de esta subcategoría es igual a $\pm 13.21%$, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°33 Estimación de incertidumbre asociada a las emisiones de la subcategoría Incineración abierta de desechos

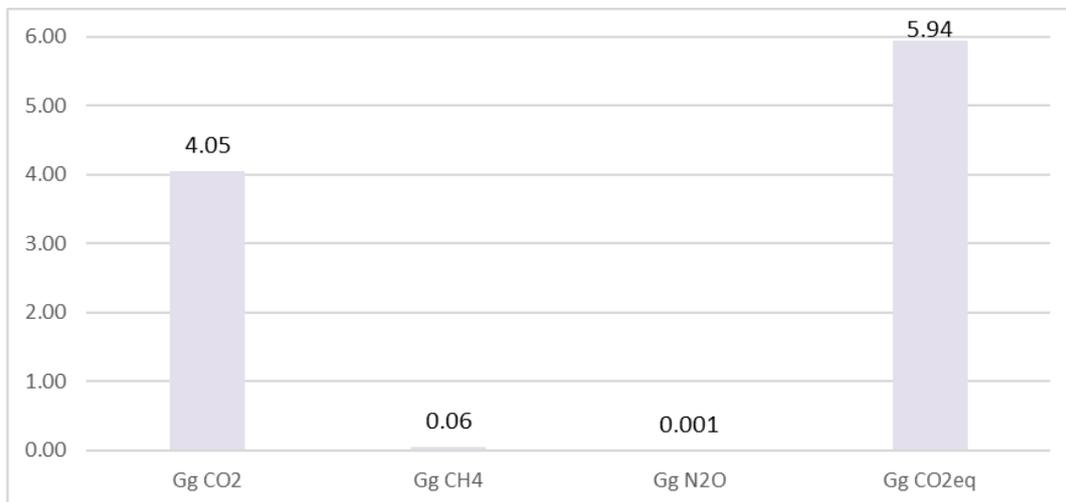
Clasificación	Fuente de emisión	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Contribución a la Varianza por Categoría en el año 2019	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales
			Datos de entrada	Datos de entrada	$\sqrt{(E_2 + F_2)}$	$(G \cdot D)^2 / (\sum D)^2$	$\sqrt{(K_2 + L_2)}$
			%	%	%	fracción	%
4C2	Incineración abierta de desechos	CO ₂	111.92%	40.00%	$\pm 118.85%$	0.66	$\pm 1.50%$
		CH ₄	111.92%	100.00%	$\pm 150.08%$	0.16	$\pm 0.23%$
		N ₂ O	111.92%	100.00%	$\pm 150.08%$	0.01	$\pm 0.01%$
						90.82%	$\pm 13.21%$

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.3.5. Análisis de resultados

Aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, en el año 2019 las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso fueron de 4.05 GgCO₂, 0.06 GgCH₄ y 0.001Gg N₂O, que equivalen a 5.94 GgCO₂eq. De la siguiente figura, se aprecia que la principal fuente de emisión proviene del CO₂.

Figura N°14 Emisiones de GEI generadas por la subcategoría 4C2

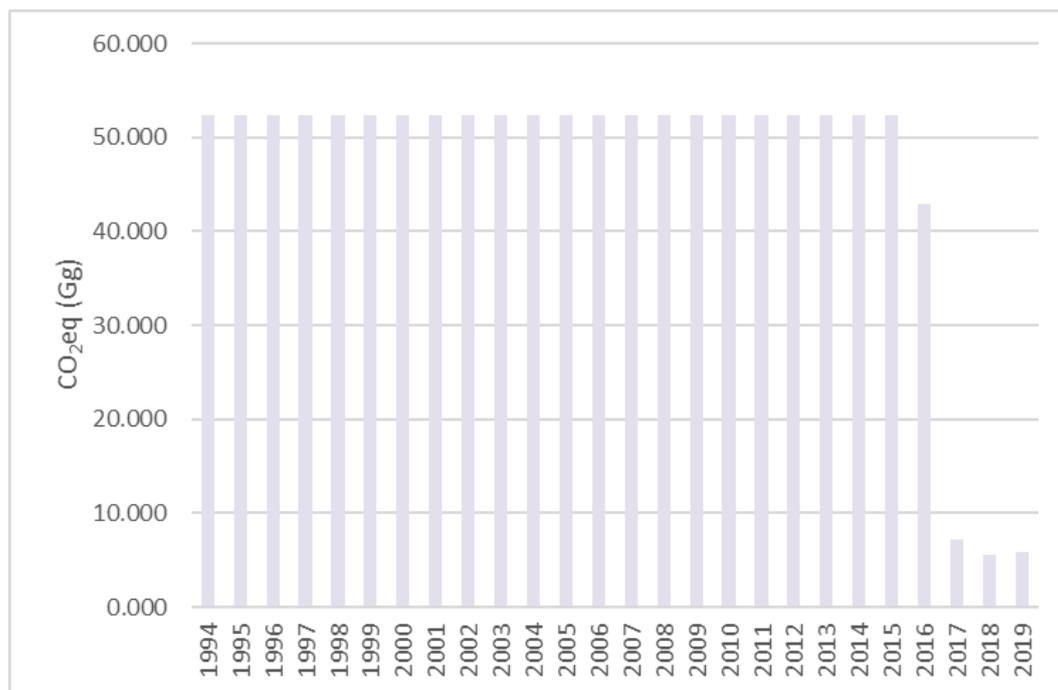


Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

6.3.6. Actualización de la serie temporal

El RAGEI 2019 presenta una serie temporal de las emisiones de GEI desde el año 1994 al 2019, estimadas con la misma metodología y fuentes de información, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura N°15 Serie temporal de las emisiones de GEI de la categoría 4C2



Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

De la figura anterior, se aprecia que la tendencia de emisiones resultantes es plana, sin embargo, para el periodo 2015 al 2019, esta tendencia varía, debido principalmente a lo siguiente:

- Del año 1994 al 2014 no existen registros relacionados a la gestión de residuos sólidos en el país. Por este motivo, las cantidades de desechos incinerados a cielo abierto se mantuvieron constantes para dicho periodo. Dada la falta de dicha información, la estimación de la GPC y composición de los residuos sólidos a nivel nacional se realizó mediante la contratación de consultores quienes aplicaron diferentes metodologías propuestas a su criterio.
- El SIGERSOL comenzó a recopilar información a partir del año 2008, sin embargo, un porcentaje muy bajo de municipios reportaron información en dicha plataforma.
- A partir del 2015, los registros del SIGERSOL se incrementaron, llegando a un promedio de 750 reportes anuales. Por lo que a partir de ese año, se encuentra disponible más información, la GPC es más completa y comparable año a año, además que el MINAM definió la metodología para la estimación del GPC y composición de residuos sólidos a nivel nacional, la cual se viene utilizando hasta la actualidad.
- Según el Informe Nacional de Gestión de Residuos Sólidos el año 2007 existían 9 rellenos sanitarios en el país, los cuales atendían diversos distritos a nivel nacional, por lo que se asume que dicha población cambió sus hábitos de incineración a disposición final de sus residuos sólidos, esto conllevó a un aumento en la cobertura de recolección y disposición adecuada de los residuos sólidos generados. En el año 2019 se contaba con 1585 áreas degradadas y 50 rellenos sanitarios en los que disponían sus residuos sólidos 1740 distritos, por lo que se asume que la actividad de incineración en estos distritos ha sido reemplazada por la disposición final de los residuos sólidos.

7 Control de Calidad y Garantía de la Calidad

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.

7.1. Control de calidad

El país, posee un procedimiento de control de calidad (CC) el cual es un sistema de actividades técnicas rutinarias destinado a evaluar y mantener la calidad del inventario a medida que se compila y lo realiza el personal encargado de compilar el inventario.

Para el control de calidad, se aplicaron procedimientos generales y específicos que establecen las directrices del IPCC de 2006.

El procedimiento de CC está diseñado para lo siguiente:

- Hacer controles rutinarios y coherentes que garanticen la integridad de los datos, su corrección y su exhaustividad;
- Detectar y subsanar errores y omisiones;
- Documentar y archivar el material de los inventarios y registrar todas las actividades de CC.

Las actividades de CC comprenden métodos generales como los controles de exactitud aplicados a la adquisición de los datos y a los cálculos, y la utilización de procedimientos normalizados aprobados para los cálculos de las emisiones y absorciones, las mediciones, la estimación de las incertidumbres, el archivo de la información y su reporte. Las actividades de CC comprenden también las revisiones técnicas de las categorías, los datos de la actividad, los factores de emisión, otros parámetros y métodos de estimación.

Así, se pueden diferenciar dos grandes grupos de procedimientos de control de calidad:

- Procedimientos Generales de CC, que son actividades genéricas aplicables a todas las categorías y enfoques metodológicos.
- Procedimientos de Categoría Específica, que son actividades de control de calidad más específicas a las categorías analizadas.

El presente RAGEI fue sometido al proceso de control de calidad con el procedimiento descrito en el Anexo 3. A continuación, en la siguiente tabla se proporcionan los principales hallazgos encontrados y el modo cómo han sido abordados.

Tabla N°34 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Categoría 4A

Hallazgos	Acciones implementadas
Asegurar que los datos de población, GPC y composición se estén tomando correctamente de las hojas de información base.	Se realizó la verificación de los datos vinculados a las hojas de información base de a planilla, asegurando de que los datos sean los correctos para toda la serie desde 1950 al 2019.

Asegurar que las emisiones de GEI producto de la generación de energía a partir del gas de vertedero no sea reportada en esta categoría sino en las emisiones del sector energía.	Se verificó que las emisiones de GEI producto del uso de gas para la generación de energía no están siendo reportadas en la categoría 4A.
Vincular las celdas de la planilla de cálculo con la información base.	Todos los cálculos realizados en la planilla de cálculo han sido vinculados con la información base.
Incorporar una hoja de cálculo donde se estimen los gases precursores de GEI si es que los datos se encuentran disponibles para realizar la estimación.	Se agregó una hoja de cálculo para los precursores de GEI los cuales fueron estimados utilizando las metodologías de la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019- Capítulo 5.A: Tratamiento biológico de residuos – disposición de residuos sólidos en tierra.
Incorporar las fuentes de información.	La información completa sobre las fuentes de datos ha sido referenciada debidamente en la planilla de cálculo y en el presente reporte.
Incluir cantidad de desechos industriales en la estimación de las emisiones de GEI.	A la fecha de elaboración del presente reporte, no se contaba con información sobre la cantidad de residuos no municipales generados y dispuestos. Sin embargo, se ha considerado su recopilación como una acción de mejora.
Incluir en el reporte, el ejercicio realizado sobre las emisiones de GEI considerando zonas climáticas.	La información ha sido incluida en el presente reporte.
Explicar la variación en la tendencia de los GEI.	Se ha incluido la explicación de la tendencia tanto en la planilla de cálculo como en el presente reporte.
Asegurar que el total de los desechos sólidos generados se consideren en una categoría u otra del inventario.	Se ha descrito dicha información en la Tabla N°1 del presente reporte.
Utilizar el potencial de calentamiento global de 28 para el metano y 265 para el óxido nitroso.	Se ha utilizado dichos valores y se ha citado la fuente del Quinto Informe de Evaluación del IPCC.
Es recomendable abordar la obtención de información a nivel de vertedero, composición y degradación de los desechos para subir de nivel de cálculo.	Se ha considerado dicha actividad como una acción de mejora.

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Tabla N°35 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Categoría 4B

Hallazgos	Acciones implementadas
Utilizar las tablas de reporte y claves de notación.	Se han utilizado dichas tablas de reporte y las claves de notación de las Directrices del IPCC 2006 para mostrar los resultados.
Incorporar las fuentes de información.	La información completa sobre las fuentes de datos ha sido referenciada debidamente en la planilla de cálculo.
Asegurar que el total de los desechos sólidos orgánicos no se consideren en otra categoría.	Se ha realizado la revisión para identificar la información que va a cada categoría. Ello se puede verificar en la Tabla N°1 de este reporte.

Hallazgos	Acciones implementadas
Homogeneizar las hojas de introducción, características de datos, información base, información procesada y hojas de resultados con el formato de las categorías 4A y 4C2 dada que es la primera experiencia de estimación en la categoría 4B.	La planilla de cálculo para estimar las emisiones de GEI de la categoría 4B se ha elaborado siguiendo las pautas de las Directrices del IPCC 2006 y las reglas establecidas en las categorías 4A y 4C2.
Incorpora una hoja de cálculo donde se estimen los gases precursores de GEI si es que los datos se encuentran disponibles para realizar la estimación.	Se revisó las metodologías de la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019 - Capítulo 5.A: Tratamiento biológico de residuos – disposición de residuos sólidos en tierra, y para el nivel 1 no se ha encontrado metodología para la estimación de los gases precursores.

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Tabla N°36 Hallazgos producto del proceso de control de calidad de la Subcategoría 4C2

Hallazgos	Acciones implementadas
Vincular las celdas de la planilla de cálculo con la información base.	Todos los cálculos realizados en la planilla de cálculo han sido vinculados con la información base.
Incorporar las fuentes de información.	La información completa sobre las fuentes de datos ha sido referenciada debidamente en la planilla de cálculo.
Asegurar que el total de los desechos sólidos incinerados no se consideren en otra categoría.	Se ha realizado la revisión para identificar la información que va a cada categoría. Ello se puede verificar en la Tabla N°1 de este reporte.
Incorpora una hoja de cálculo donde se estimen los gases precursores de GEI si es que los datos se encuentran disponibles para realizar la estimación.	Se agregó una hoja de cálculo para los precursores de GEI los cuales fueron estimados utilizando las metodologías de la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019- - Capítulo 5.C.1.a Incineración de residuos municipales.
Asegurar que se esté utilizando la información base adecuada.	Se aseguró que los datos de GPC rural, composición y disposición final sean los adecuados y cuyas fuentes fueron referenciadas debidamente en la planilla de cálculo.
Utilizar las tablas de reporte y claves de notación.	Se han utilizado dichas tablas de reporte y las claves de notación para mostrar los resultados.

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

7.2. Garantía de calidad

Durante el proceso de elaboración del RAGEI 2019 las estimaciones fueron sometidas a la revisión de la firma consultora *Gauss International Consulting*. Es así que, el informe de garantía de la calidad incluyó recomendaciones de acciones urgentes, recomendaciones para el próximo ciclo del inventario y recomendaciones a largo plazo.

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se resumen las principales recomendaciones y mejoras propuestas, identificadas como resultado del proceso de garantía de calidad. Es importante mencionar que algunas de las sugerencias fueron acogidas para elaborar el presente reporte (Tabla N°37), y otras recomendaciones serán integradas al plan de mejora del RAGEI.

Tabla N°37 Hallazgos urgentes resultantes de la Garantía de la Calidad y acciones realizadas

Categoría	Proposición de acciones urgentes	Acciones realizadas
4B Tratamiento biológico de desechos sólidos	<p>Corregir el factor de emisión de N₂O (valor correcto: 0,24 g N₂O /kg residuos húmedos). Nota.- Se trata de un error en la versión traducida al español de las Guías 2006 IPCC, se recomienda utilizar la versión oficial en inglés para los valores numéricos. Mejorar la transparencia del informe presentando los valores de los datos de actividad y los factores de emisión.</p>	<p>Se corrigió el factor de emisión de N₂O de 0,3 a 0,24 g N₂O/kg residuos húmedos.</p>
4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos	<p>Los factores de emisión no se presentan en el informe, sólo se dan las referencias correctas. La metodología se describe en el informe (metodología por defecto de las Directrices del IPCC de 2006) y se aplica correctamente. Se observa una conversión errónea de las unidades de los datos de actividad de los gases precursores en el archivo RAGEI_4C2_Incineración-de-residuos-sólidos-2019_Final 10.01.23, pestaña PGEI, celda E12 (los datos de actividad se han convertido incorrectamente de Gg a Mg – la conversión correcta es 1 Gg x 1000 = 1 Mg – y las emisiones de los SIEG están subestimadas en un factor de 1000).</p>	<p>Se corrigió la conversión de las unidades de los datos de actividad indicados.</p>

Fuente: Elaboración propia

8 PLAN DE MEJORA

La siguiente tabla presenta las acciones de mejora propuestas para la elaboración de futuros RAGEI:

Tabla N°38 Acciones de mejora generales planificadas para futuros RAGEI

N°	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 ¹⁵
1	Recabar información sobre la generación de residuos sólidos no municipales con el fin de incluirlos en la estimación de las emisiones de la categoría 4A. Por lo pronto, estas emisiones no son consideradas en este reporte dado que no se cuenta con dicha información.	Mejorar la exactitud de los cálculos	A partir del año 2017 entró en vigor la nueva Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos donde se insta a las empresas a reportar las actividades relacionadas a la gestión de los residuos no municipales. Por otro lado, el MINAM a través de la DGRS debe administrar el Sistema de Información sobre la Gestión de los Residuos Sólidos - SIGERSOL No Municipal, en el que se sistematizará la información sobre los residuos no municipales. En ese sentido, se contará con esta información para futuros RAGEI.	Mediano plazo
2	Realizar las gestiones pertinentes para incluir preguntas específicas sobre gestión de residuos sólidos requeridas para el RAGEI en la encuesta nacional de hogares que realiza el INEI. Para ello, se retomará contacto con dicha entidad y se mostrará la importancia de la información requerida.	Mejorar la exactitud de los cálculos	La DGRS ha coordinado con el INEI para incluir información sobre la gestión de residuos sólidos municipales, pero se debe revisar que dicha información sirva también para los fines del RAGEI.	Mediano plazo
3	Iniciar las coordinaciones con el INEI para incluir preguntas específicas relacionadas a gestión de residuos sólidos no municipales que contribuyan a la elaboración del RAGEI en la encuesta nacional de empresas.	Mejorar la exactitud de los cálculos	La DGRS ha manifestado la importancia de contar con esta información al INEI.	Mediano plazo

¹⁵ 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.

N°	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 ¹⁵
4	Establecer un mecanismo de verificación de la información reportada en el SIGERSOL para garantizar la sostenibilidad y calidad del RAGEI.	Mejorar la exactitud de los cálculos	El SIGERSOL ha sido fortalecido por lo cual se contará con información robusta para la estimación de los siguientes RAGEI	Mediano plazo
5	Evitar la asignación de valores de GPC y de composición de residuos sólidos para años donde no se cuenta la información.	Mejorar la exactitud de los cálculos	Si bien la DGRS MINAM cuenta con más reportes en el SIGERSOL aún se viene asignando valores de GPC y composición utilizando una metodología propia de la DGRS – MINAM. Sin embargo, se requiere con el tiempo obtener estos valores directamente de la fuente.	Mediano plazo
6	Abordar el levantamiento de información sobre tratamiento biológico para cuantificar las emisiones de la categoría 4B. Coordinando, además, con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento para obtener datos sobre compostaje en zona rural y con el Ministerio de la Producción para obtener información sobre producción de biogás producto de la digestión anaeróbica como tratamiento de efluentes industriales in situ.	Mejorar la exactitud y exhaustividad de los cálculos.	Si bien se ha contado con información del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal aún existe la necesidad de contar con más información de otras fuentes en las que se viene trabajando.	Mediano plazo
7	Recopilar información sobre la incineración controlada de desechos sólidos a nivel nacional. Esta información puede ser conseguida en coordinación con el Ministerio de Salud quienes podrían llevar el control de los residuos sólidos hospitalarios y peligrosos que se incineran por seguridad, además de otras fuentes de incineración.	Mejorar la exactitud y exhaustividad de los cálculos.	Dada la entrada en vigor de la nueva Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, esta información será recabada y considerada en los futuros RAGEI.	Mediano plazo

N°	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 ¹⁵
8	Obtener información detallada sobre volúmenes recibidos/tratados por vertedero e información sobre la composición de los residuos, para avanzar a enfoques metodológicos superiores. Esta información permitirá diferenciar más fácilmente por zonas climáticas, y/o estimar los parámetros de degradación del método FOD del IPCC para cada zona climática/vertedero.	Mejorar la exactitud de los cálculos	Dada la implementación de mayores rellenos sanitarios a nivel nacional y el inventario de áreas degradadas por residuos sólidos de OEFA, es posible contar con esta información para el siguiente RAGEI.	Mediano plazo
9	Identificar las cantidades de lodos generados en PTAR y depositados en vertedero. Estas cantidades orgánicas se deben sustraer de la estimación de las categorías 4D1 y 4D2 y considerar en la categoría 4A. Identificar las cantidades de desechos quemados en vertedero. Esto permitirá mejorar las estimaciones de la categoría 4A y 4C.	Mejorar la exactitud y exhaustividad de los cálculos.	No se han iniciado acciones de implementación.	Mediano plazo
10	Debido a que el INEI cuenta con diversas publicaciones sobre población total, urbana y rural. Se requiere indicar la importancia de contar con un solo dato y una sola fuente de información para ser utilizado por todas las categorías del sector desechos.	Mejorar la exactitud y exhaustividad de los cálculos.	Se ha mostrado al INEI la importancia de contar con esta información para los futuros RAGEI.	Mediano plazo

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

9 BIBLIOGRAFÍA

- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 3 Incertidumbres.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 6 Garantía de calidad / Control de calidad.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 7 Precursores y emisiones indirectas.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1, Capítulo 8 Orientación y cuadros para la generación de informes.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 2 Datos de generación, composición y gestión de desechos sólidos.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 3 Eliminación de desechos sólidos.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 3 IPCC Waste Model.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 4 Tratamiento biológico de los desechos sólidos.
- Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 5 Incineración e incineración abierta de desechos.
- Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019- Capítulo 5.A: Tratamiento biológico de residuos – disposición de residuos sólidos en tierra.
- Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/CORINAIR 2019- - Capítulo 5.C.1.a Incineración de residuos municipales.

10 ANEXOS

Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Verónica Mendoza Díaz
Cargo	Especialista en Información Ambiental
Correo Electrónico	vmendoza@minam.gob.pe
Teléfono - Anexo	+51 1 611 6000 – Anexo 1572
Dirección de Línea	Dirección de Instrumentos de Gestión de Residuos Sólidos
Dirección General	Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos
Institución	Ministerio del Ambiente

Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos – MINAM

Anexo 2: Juicio de experto realizado

Gestión de residuos sólidos de los años 1950 al 2013:

Juicio de experto de la Ing. Verónica Mendoza. Especialista en Información Ambiental de la DGRS –MINAM, vmendoza@minam.gob.pe. Quien indicó que, dado que para dicha serie no se cuenta con información sobre gestión de residuos sólidos, los siguientes supuestos se pueden asumir:

- La generación per cápita de residuos sólidos municipales es de 0.775 kg/hab/día
- La única forma de gestión de residuos sólidos municipales conocida es la eliminación de residuos sólidos en sitios de disposición final (botaderos o rellenos sanitarios), no se puede comprobar un porcentaje de éstos que haya sido gestionado mediante valorización de residuos orgánicos e inorgánicos.
- Esta disposición final no es categorizada ya que se desconoce los tipos de lugares donde fueron depositados los residuos sólidos.
- De igual modo, la gestión de residuos sólidos no municipales se ha clasificado como dispuesta en sitios de disposición final no categorizados al 100%.

Población rural que incinera residuos sólidos a cielo abierto:

Juicio de experto de la Ing. Verónica Mendoza. Especialista en Información Ambiental de la DGRS –MINAM, vmendoza@minam.gob.pe. Indicó que los siguientes supuestos pueden ser utilizados para hallar la cantidad de residuos sólidos que son incinerados a cielo abierto:

- Pequeñas ciudades con menos de 10,000 habitantes son las que incineran los desechos sólidos a cielo abierto por la falta del servicio de recolección de residuos sólidos.
- Pequeñas ciudades con menos de 10,000 habitantes que no presentan registro de sitio de disposición final ya sea botadero o relleno sanitario, es probable que al no contar con un sitio de disposición final incineren sus desechos sólidos.
- Esta población hallada con los dos supuestos anteriores se asume que el porcentaje de residuos sólidos clasificado como materia orgánica es destinado a los animales como alimento y el porcentaje de residuos sólidos clasificado como madera y follaje es utilizado por esta población como leña. Estas actividades son práctica común en la zona rural.

Anexo 3: Procedimiento de control de calidad

Tabla N°39 Procedimientos generales de control de calidad

Actividad de CC	Procedimientos
Verificar que las hipótesis y criterios para la selección de los datos de actividad y factores de emisión estén documentados.	Realizar verificaciones cruzadas de las descripciones de datos de actividad y factores de emisión con información sobre las categorías y asegurar que estos estén debidamente registrados y archivados.
Verificar si existen errores de transcripción en los datos de entrada y la referencia.	<p>Confirmar que las referencias de datos bibliográficos estén debidamente citadas en la documentación interna.</p> <p>Efectuar verificaciones en muestras de datos de entrada de cada categoría (ya sean medidas o parámetros utilizados en las estimaciones) para detectar posibles errores de transcripción.</p> <p>Utilizar datos electrónicos siempre que sea posible para minimizar los errores de transcripción.</p> <p>Comprobar que las funciones de las hojas de cálculo se utilicen para minimizar los errores de entrada/usuario:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evitar la programación de factores como fórmulas. - Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos. - Usar la protección de celdas para que los datos fijos no sean modificados de manera accidental. - Realizar controles automáticos, como los controles informáticos para cálculos o controles de rango de los datos de entrada.
Verificar que las emisiones/remociones se estimen correctamente.	<p>Reproducir una muestra representativa de los cálculos de las emisiones/remociones.</p> <p>En el caso que se utilicen los modelos, imitar de forma selectiva los modelos de cálculos complejos con estimaciones abreviadas para juzgar la exactitud relativa.</p>
Verificar que las unidades de emisiones/remociones y parámetros se registren correctamente y que los factores de conversión se utilicen de manera apropiada.	<p>Verificar que las unidades estén correctamente etiquetadas en las hojas de cálculo.</p> <p>Verificar que las unidades se transporten correctamente desde el principio hasta el final de los cálculos.</p> <p>Verificar que los factores de conversión sean correctos.</p> <p>Verificar que los factores de ajuste temporal y espacial se utilicen correctamente.</p>
Verificar la integridad de los archivos de base de datos.	<p>Confirmar que los pasos de procesamiento de datos apropiados estén correctamente representados en la base de datos.</p> <p>Confirmar que las relaciones de datos estén correctamente representadas en la base de datos.</p> <p>Asegurar que los campos de datos estén correctamente etiquetados y cuenten con las correctas especificaciones de diseño.</p> <p>Asegurar que la documentación adecuada de la operación, la estructura del modelo y la base de datos sean archivadas.</p>
Verificar la coherencia de los datos entre las categorías.	Identificar los parámetros (p. ej., datos de actividad, constantes) que son comunes a múltiples categorías y confirmar que existe coherencia en los valores utilizados para estos parámetros en los cálculos de las emisiones/remociones.
Verificar que el movimiento	Verificar que los datos de emisiones/remociones se agreguen

de datos de inventario entre los pasos de procesamiento sea correcto.	correctamente de los niveles más bajos a los niveles más altos de información en la elaboración de resúmenes. Verificar que los datos de emisiones/remociones se transcriban correctamente en los diferentes productos intermedios
Revisar el archivo y la documentación interna.	Verificar que existe documentación interna detallada para respaldar las estimaciones y permitir la duplicación de los cálculos. Verificar que cada elemento de datos básico tenga una referencia para la fuente de datos (a través de los comentarios de celda u otro sistema de anotación). Verificar que los datos de inventario, datos de respaldo y registros de inventarios sean archivados y almacenados para facilitar una revisión detallada. Verificar que el archivo sea cerrado y se conserve en un lugar seguro tras la finalización del inventario. Verificar la integridad de los arreglos relacionados al archivo de datos de las organizaciones externas que participan en la elaboración del inventario.
Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en recálculos.	Verificar la coherencia temporal en los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría. Verificar la coherencia en el método/algorithm utilizado para los cálculos en la serie temporal. Reproducir una muestra representativa de los cálculos de emisiones para garantizar su exactitud matemática.
Verificar la coherencia de la serie temporal.	Verificar la coherencia temporal en los datos de entrada de la serie temporal para cada categoría. Verificar la coherencia en el método/algorithm utilizado para los cálculos en la serie temporal. Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en recálculos. Verificar que los efectos de las actividades de mitigación se reflejen adecuadamente en los cálculos de la serie temporal.
Verificar la exhaustividad.	Confirmar que las estimaciones se presenten para todas las categorías y todos los años desde el año base correspondiente durante el período del inventario actual. En relación con las subcategorías, confirmar que toda categoría sea cubierta. Facilitar una definición clara de las categorías de 'Otro' tipo. Verificar que los datos cuya indisponibilidad sea conocida, resultando en estimaciones incompletas de emisiones/remociones de una categoría, estén documentados, incluyendo la evaluación cualitativa de la importancia de la estimación en relación con el total de emisiones netas (p. ej., las subcategorías clasificadas como 'no estimadas').
Revisiones de tendencias	Comparar las estimaciones de inventario actuales con las estimaciones previas de cada categoría, en caso de estar disponibles. En el caso que existan cambios o desviaciones significativos de las tendencias esperadas, es necesario volver a revisar las estimaciones y explicar la diferencia. Los cambios significativos en las emisiones o remociones de años anteriores pueden indicar los posibles errores de entrada o de cálculo. Verificar el valor de los factores de emisión implícitos (emisiones/remociones agregadas, divididas por datos de actividad) a través de la serie temporal. ¿Se han reportado cambios en las emisiones o remociones? Verificar si existe alguna tendencia inusual o inexplicable reportada para los datos de actividad u otros parámetros a través de la serie temporal.

Fuente: Adaptación de las Directrices del IPCC de 2006

Tabla N°40 Procedimientos de específicos de control de calidad

Actividad de CC	Procedimientos
Evaluar la pertinencia de los factores por defecto del IPCC.	<p>Evaluar si las condiciones nacionales son similares a las utilizadas para desarrollar los factores por defecto del IPCC.</p> <p>Comparar los factores por defecto con los factores a nivel de planta o de sitio.</p> <p>Considerar las opciones para obtener factores específicos del país.</p> <p>Documentar los resultados de esta evaluación.</p>
Revisar los factores específicos del país.	<p>Controlar la calidad de los datos utilizados para desarrollar el factor específico del país.</p> <p>Evaluar si los estudios secundarios utilizados para desarrollar los factores específicos del país utilizaron (como mínimo) las actividades de CC de Nivel 1.</p> <p>Comparar los factores específicos del país con los valores por defecto del IPCC; documentar alguna discrepancia significativa.</p> <p>Comparar los factores específicos del país con los factores a nivel de planta o de sitio.</p> <p>Comparar los factores de los otros países (utilizando la Base de datos de factores de emisión del IPCC).</p> <p>Documentar los resultados de esta evaluación.</p>
Revisar las mediciones.	<p>Determinar si los estándares nacionales o internacionales (p. ej., ISO) fueron utilizados en las mediciones.</p> <p>Asegurar que el equipo de medición comprenda y se mantenga apropiadamente.</p> <p>Comparar las mediciones directas con las estimaciones utilizando un factor; documentar alguna discrepancia significativa.</p>
Evaluar la coherencia de la serie temporal.	<p>Revisar cambios significativos (> 10%) en las estimaciones anuales para categorías y subcategorías.</p> <p>Comparar estimaciones realizadas con enfoques “top-down” y “bottom-up” para verificar que sean de similares órdenes de magnitudes.</p> <p>Realizar cálculos de referencia que utilizan las relaciones estequiométricas y la conservación de la masa y tierra.</p>
Revisar los datos de actividad a nivel nacional.	<p>Determinar el nivel de CC obtenido por la agencia de recolección de datos. Si no fuera apropiado, considerar las fuentes de datos alternativas, tales como los conjuntos de datos internacionales o factores por defecto del IPCC. Ajustar la incertidumbre relevante de manera apropiada.</p> <p>Evaluar la coherencia de la serie temporal.</p> <p>Comparar los datos de actividad de múltiples referencias si es posible.</p>
Revisar los datos de actividad específicos de sitio.	<p>Determinar si los estándares nacionales o internacionales (p. ej., ISO) fueron utilizados en las estimaciones.</p> <p>Comparar los datos específicos de sitio en conjunto con (p. ej., producción) los datos/estadísticas nacionales.</p> <p>Comparar los datos de sitios similares.</p> <p>Comparar estimaciones realizadas con enfoques “top-down” y “bottom-up” para verificar que sean de similares órdenes de magnitudes</p>
Estimaciones de incertidumbre de CC.	<p>Aplicar las técnicas de CC para las estimaciones de incertidumbre.</p> <p>Revisar los cálculos de incertidumbre.</p> <p>Documentar las hipótesis de incertidumbre y las cualidades de algunos expertos consultados.</p>
Verificar las estimaciones de GEI.	<p>Comparar las estimaciones con otras estimaciones nacionales o internacionales a nivel de sector, subsector, de gas o nacional, en caso se encuentren disponibles.</p>

Fuente: Adaptación de las Directrices del IPCC de 2006

Anexo 4: Procedimiento de control de calidad

A continuación, se presentan las principales conclusiones de la revisión del sector Desechos (Categorías 4A, 4B y 4C2) producto del proceso de Garantía de la Calidad del INGEI 2019.

Tabla N°41 Conclusiones de la revisión sector Desechos – Categoría 4A

4A Eliminación de residuos sólidos
Observación
<p>Se observa un importante trabajo de estimación de los datos de actividad (cantidades, composición) y de los parámetros del modelo basado en datos de todo el distrito de 2014.</p> <p>La calidad de los datos de generación de residuos podría mejorarse haciendo la distinción entre la generación per cápita (GPC) en zonas rurales y urbanas (como se ha realizado para la categoría de quema de desechos a cielo abierto para los distritos rurales de más de 10.000 habitantes).</p> <p>Se utiliza la composición de los residuos generados. El uso de la composición de los residuos eliminados en vertedero mejoraría la calidad de los datos.</p> <p>Respecto a la exhaustividad, no se incluyen las emisiones de residuos industriales en vertederos y escombreras ni las emisiones de lodos de depuradora depositados en los vertederos.</p> <p>Parece haber una incoherencia temporal del GPC municipal. En efecto, se cuenta con información sistematizada a partir del año 2014 por lo que para los años anteriores desde el año 1950 al 2013, el valor constante se clasificó mediante Juicio de Experto. Hay posibilidades de mejorar la evolución de la serie de GPC con una estimación temporal desde el año 1950.</p> <p>Existe una incoherencia temporal entre la fracción de residuos en vertederos gestionados (comienza en 2014) y la captura de biogás (comienza en 2007).</p> <p>Los datos de actividad y los parámetros utilizados están bien documentados en el archivo de cálculo.</p> <p>En el informe la elección de la zona climática se presenta en detalle pero la transparencia del informe podría mejorarse 1) presentando la composición todos los años (y no sólo para el 2019), 2) proporcionando las razones por las cuales a partir de 2014 se aplica un factor (70%) para extrapolar la GPC doméstica a la GPC municipal, y 3) describiendo y justificando la distribución de los residuos almacenados por tipo de vertedero (que repercute en los MCF) 1950-2019; el factor de oxidación (Ox) 1950-2019 y la cantidad de CH4 capturado y quemado (R). Nota – actualizar el gráfico N°5 cambiando la escala.</p> <p>El archivo de cálculo del IPCC (Modelo de desechos del IPCC) se entiende y se aplica correctamente. Sin embargo, aunque existen rellenos sanitarios en Perú desde 2007 con sistemas de recolección y de eliminación de gases de vertedero:</p> <p>1) Se utiliza un factor de oxidación (Ox) de 0 en toda la serie temporal y el valor Ox por defecto de las Directrices del IPCC para los vertederos gestionados es 0,1 siendo 0 solamente para los vertederos no gestionados (Tabla 3.2, cap. 3, Vol 5, IPCC 2006 GL). Contrariamente a la respuesta proporcionada por Perú durante la revisión, es posible especificar en el modelo del IPCC los valores de la variable Ox a lo largo de la serie temporal. Pestaña "Recovery_OX" en el archivo de cálculo.</p> <p>2) Si el archivo RAGEI_4A_Eliminación-de-residuos-sólidos-2019_IPCC_Final_10.01.23.xls, pagina "Recovery_Ox", los datos de recolección empiezan en 2007, en las pestañas IB GPC y Gestión y MCF, las cantidades en rellenos sanitarios sólo comienzan en 2014 lo que genera una incoherencia temporal entre estas dos variables (R y % en rellenos con MCF =1).</p>
Proposición de acciones urgentes
<p>Mejorar la transparencia del informe presentando las series temporales de todas las variables del modelo de cálculo y su estimación (composición de los residuos, captación de biogás, distribución por tipo de vertedero, etc.).</p>

4A Eliminación de residuos sólidos
Mejorar las estimaciones teniendo en cuenta los residuos industriales a lo largo de toda la serie temporal. Como primera aproximación, centrarse en los vertederos sanitarios más documentados y, a partir de la población cuyos residuos se tratan en esos vertederos, estimar la cantidad esperada de residuos de la población. Por diferencia con las cantidades que entran realmente en estos vertederos, se puede estimar una tasa media de residuos adicionales procedentes de la industria.
Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario
Incluir los lodos de depuradora en las estimaciones. Tener en cuenta un factor de oxidación variable a lo largo de la serie temporal. Asegurar la coherencia de las cantidades depositadas en los rellenos sanitarios con las cantidades capturadas de CH4 en las series temporales. Como sólo se dispone de datos a partir de 2020 para la cantidad de residuos industriales, deberán estimarse las cantidades de todos los años notificados utilizando los métodos de las directrices del IPCC de 2006 (volumen 1, capítulo 5). Mejorar la estimación de la serie temporal de la tasa de generación de residuos desde 1990.
Recomendaciones a largo plazo
Calcular y utilizar la composición de los residuos depositados (no de los residuos generados). Estimar y utilizar tasas de generación diferentes para la población rural y urbana para toda la serie temporal.

Tabla N°42 Conclusiones de la revisión sector Desechos – Categoría 4B

4B Tratamiento biológico de los residuos sólidos
Observación
Los valores de los datos de actividad y los factores de emisión no se presentan en el informe, sólo se dan las referencias correctas de los factores de emisión. La metodología se describe en el informe (metodología por defecto de las Directrices del IPCC de 2006) y se aplica correctamente. En el archivo de cálculo (RAGEI_4B_Tratamiento biológico-2019_Final 10.01.23.xlsx), pestaña Factores, se indica que el factor de emisión de N2O se ha tomado de las Directrices del IPCC y es de 0,3 g N2O/kg desechos. Sin embargo, el valor por defecto en las Directrices del IPCC de 2006 (Volumen 5, Capítulo 4, Tabla 4.1) es de 0,24 g N2O/kg de desechos.
Proposición de acciones urgentes
Corregir el factor de emisión de N2O (valor correcto: 0,24 g N2O /kg residuos húmedos). <i>Nota.- Se trata de un error en la versión traducida al español de las Guías 2006 IPCC, se recomienda utilizar la versión oficial en inglés para los valores numéricos.</i> Mejorar la transparencia del informe presentando los valores de los datos de actividad y los factores de emisión.
Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario
NA
Recomendaciones a largo plazo
NA

Tabla N°43 Conclusiones de la revisión sector Desechos – Categoría 4C2

4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos
Observación
<p>Los factores de emisión no se presentan en el informe, sólo se dan las referencias correctas. La metodología se describe en el informe (metodología por defecto de las Directrices del IPCC de 2006) y se aplica correctamente.</p> <p>Se observa una conversión errónea de las unidades de los datos de actividad de los gases precursores en el archivo RAGEI_4C2_Incineración-de-residuos-sólidos-2019_Final 10.01.23, pestaña PGEI, celda E12 (los datos de actividad se han convertido incorrectamente de Gg a Mg – la conversión correcta es 1 Gg x 1000 = 1 Mg – y las emisiones de los SIEG están subestimadas en un factor de 1000.</p>
Proposición de acciones urgentes
<p>Corregir los datos de actividad utilizados para las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero. <i>Nota.- Se trata de un error en la versión traducida al español de las Guías 2006 IPCC, se recomienda utilizar la versión oficial en inglés para los valores numéricos.</i></p> <p>Mejorar la transparencia del informe presentando los valores de los factores de emisión.</p>
Recomendaciones para el próximo ciclo de inventario
NA
Recomendaciones a largo plazo
NA