

RAGEI 2019

REPORTE ANUAL DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR
DESECHOS 2019



CATEGORÍAS:

**TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN
DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS**

Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Desechos del año 2019.

Categoría: Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales

Subcategoría: Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas

Preparado por:

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Construcción y Saneamiento

Dirección General de Asuntos Ambientales

Lima, 2023

CONTENIDO

SIGLAS Y ACRÓNIMOS	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
1 INTRODUCCIÓN	9
2 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR	10
3 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI	12
3.1 Organización para la elaboración del RAGEI	12
3.2 Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI.....	12
3.3 Control de calidad y garantía de la calidad del RAGEI	13
4 METODOLOGÍA APLICADA	14
4.1 Metodología para el cálculo de emisiones de GEI	14
4.2 Metodología para el análisis de incertidumbre	15
4.3 Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal	16
5 RESULTADO SUBCATEGORÍA TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	17
5.1 Fuente 4D1a: Emisiones de metano CH ₄	18
5.1.1 Método de cálculo	18
5.1.2 Datos de actividad	22
5.1.3 Factores de emisión y de conversión	29
5.1.4 Análisis de incertidumbre	31
El análisis de incertidumbre se ha desarrollado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006 y utilizando los valores de incertidumbre por defecto tanto para los datos de actividad como para los factores de emisión.	31
5.1.5 Análisis de resultados	32
5.1.6 Actualización de la serie temporal.....	33
5.2 Fuente 4D1b: Emisiones de óxido nitroso N ₂ O.....	34
5.2.1 Método de Cálculo	34
5.2.2 Datos de actividad	35
5.2.3 Factores de emisión y de conversión	36
5.2.4 Análisis de incertidumbre	37
El análisis de incertidumbre se ha desarrollado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006 y utilizando los valores de incertidumbre por defecto tanto para los datos de actividad como para los factores de emisión.	37
5.2.5 Análisis de resultados	38
5.2.6 Actualización de la serie temporal.....	39
5.3 Control de Calidad	40
5.3.1 Control de calidad.....	4040

5.4	Plan de mejora.....	41
6	BIBLIOGRAFÍA	44
7	ANEXOS.....	45
7.1	Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI	45
7.2	Anexo 2: Juicio de experto.....	46
7.3	Anexo 3: Procedimiento de control de calidad	47

Lista de Tablas

<i>Tabla N° 1 Cobertura en agua y alcantarillado en zona urbana y de disposición sanitaria de excretas– 2019.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla N° 2. Gases estimados en el RAGEI 2019.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla N° 3. Categoría y subcategorías para fines del RAGEI 2019</i>	<i>14</i>
<i>Tabla N° 4. Análisis de incertidumbre RAGEI 2019</i>	<i>15</i>
<i>Tabla N° 5. Resultados de las estimaciones de emisiones de la Sub-Categoría 4D1</i>	<i>18</i>
<i>Tabla N° 6. Datos nacionales utilizados en la estimación de emisiones de metano del año 2019 – 4D1a23</i>	
<i>Tabla N° 7. Fuente de información y supuestos utilizados para la población urbana y rural en la serie temporal 1994 – 2019</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 8. Población urbana y rural utilizada para la serie temporal 1994 – 2019.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N° 9. Correspondencia de los tratamientos nacionales o sistemas de eliminación de excretas con los tratamientos de las Directrices del IPCC de 2006 - urbano</i>	<i>29</i>
<i>Tabla N° 10. Correspondencia de los tratamientos nacionales o sistemas de eliminación de excretas con los tratamientos de las Directrices del IPCC de 2006 – rural</i>	<i>30</i>
<i>Tabla N° 11. Parámetros por defecto utilizados en la estimación de las emisiones de metano de aguas residuales – 4D1a</i>	<i>31</i>
<i>Tabla N° 12. PCG utilizado para el Metano</i>	<i>31</i>
<i>Tabla N° 13. Valores de incertidumbre para datos de actividad</i>	<i>31</i>
<i>Tabla N° 14. Valores de incertidumbre para factores de emisión</i>	<i>32</i>
<i>Tabla N° 15. Valores de incertidumbre para factores de emisión</i>	<i>32</i>
<i>Tabla N° 16. Datos de actividad empleados en la estimación de emisiones de óxido nitroso – 4D1b</i>	<i>35</i>
<i>Tabla N° 17. Datos de actividad para la estimación de emisiones de N₂O en aguas residuales domésticas</i>	<i>36</i>
<i>Tabla N° 18. Factores de emisión y conversión utilizados – 4D2b.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla N° 19. PCG utilizado para el Óxido Nitroso</i>	<i>37</i>
<i>Tabla N° 20. Valores de incertidumbre para datos de actividad</i>	<i>37</i>
<i>Tabla N° 21. Valores de incertidumbre para factores de emisión</i>	<i>38</i>
<i>Tabla N° 22. Valores de incertidumbre para factores de emisión</i>	<i>38</i>
<i>Tabla N° 23. Hallazgos producto del proceso de control de calidad</i>	<i>40</i>
<i>Tabla N° 24. Acciones de mejora para futuros RAGEI</i>	<i>41</i>
<i>Tabla N° 25. Procedimientos generales de control de calidad</i>	<i>47</i>
<i>Tabla N° 26. Procedimientos de específicos de control de calidad para la subcategoría 4D1 – Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas.....</i>	<i>48</i>

Lista de Figuras

<i>Figura N° 1. Emisiones de la subcategoría 4D1 (Gg CO₂eq)</i>	<i>17</i>
<i>Figura N° 2. Árbol de decisión para las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura N° 3. Formas de eliminación sanitaria de excretas – urbano, 2019</i>	<i>26</i>
<i>Figura N° 4. Formas de eliminación sanitaria de excretas – rural, 2019</i>	<i>27</i>
<i>Figura N° 5. Tipos de tratamiento y porcentaje de participación en el tratamiento de aguas residuales domésticas de las EPS, 2021.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura N° 6. Emisiones de metano generadas por el tratamiento de aguas residuales domésticas</i>	<i>33</i>
<i>Figura N° 7. Serie temporal de emisiones de aguas residuales domésticas (Gg CH₄) – 4D1a.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura N° 8. Serie temporal de emisiones de aguas residuales domésticas por tipo de GEI (Gg CH₄) – 4D1a</i>	<i>34</i>
<i>Figura N° 9. Emisiones de óxido nitroso, 2019</i>	<i>39</i>
<i>Figura N° 10. Serie temporal de emisiones de emisiones de óxido nitroso (Gg N₂O)– 4D1b.....</i>	<i>39</i>

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Bo	Capacidad máxima de producción de metano
CH₄	Metano
CMNUCC	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DGAA	Dirección General de Asuntos Ambientales
DGCCD	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación
ECAM	Evaluación y Monitoreo del Desempeño Energético y las Emisiones de Carbono (del inglés <i>The Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring</i>)
EF	Factor de emisión
FCM	Factor de corrección de metano (MFC en inglés, <i>Methane Correction Factor</i>)
EPS	Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (del inglés <i>Food and Agriculture Organization</i>)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
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>)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INFOCARBONO	Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (del inglés <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
MINAM	Ministerio del Ambiente
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
N₂O	Óxido nitroso
PCG	Potencial de Calentamiento Global (GWP en inglés, <i>Global Warming Potential</i>)
PMACC	Planes de mitigación y adaptación al cambio climático
PTAR	Plantas de tratamiento de aguas residuales
RAGEI	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero
RAGEI 2019	Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del año 2019
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SICAP	Sistema de Transferencia y Captura de Datos
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
WaCCliM	Empresas de Servicios de Agua y Saneamiento para la Mitigación del Cambio Climático (del inglés <i>The Water and Wastewater Companies for Climate Change</i>)

RESUMEN EJECUTIVO

El Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del sector Desechos, subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas del año 2019 (RAGEI 2019) describe el proceso de estimaciones de GEI para el año 2019 y la actualización de la serie temporal.

El RAGEI 2019 presenta las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) generadas por las aguas residuales domésticas¹, calculadas 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 87.27 Gg de CH₄ y 1.37 Gg de N₂O, que equivalen respectivamente a 2,443.62 Gg CO₂eq y 364.02 Gg CO₂eq. El resultado agregado de la estimación de las emisiones de la subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas equivale a 2,807.64 Gg CO₂eq.

Respecto a la evolución de las emisiones de GEI, se tiene que, bajo la metodología y supuestos estipulados en el presente RAGEI, las emisiones del año 2019 se redujeron en aproximadamente en un 8.18% respecto a las emisiones actualizadas para el 2016, pero aumentaron en un 27.13 % respecto al año 2000. Desde el año 1994 al 2014, se evidencia una tendencia de generación de emisiones de GEI, que está relacionada al incremento poblacional y al porcentaje de tratamiento de aguas residuales volcadas a la red. Con la entrada en operación de emisores submarinos en Lima, el porcentaje nacional de tratamiento de aguas residuales se incrementa sustancialmente. A nivel de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (que prestan el servicio de alcantarillado a 17.21 millones de personas), el porcentaje de tratamiento de tratamiento de aguas residuales pasa de 32.0% en el 2012 a 77.9% en el 2019.

El presente RAGEI 2019 constituye un hito importante para el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) contribuye a cumplir con las Modalidades, Procedimientos y Directrices del Marco de Transparencia para la Acción y Apoyo referido en el Artículo 13 del Acuerdo de París, adoptada en la Conferencia de las Partes (COP) 24, celebrada en el 2018 en Katowice, Polonia.

¹ Aguas residuales domésticas y municipales.

1 INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Ambiente (MINAM), a través del Decreto Supremo N°013-2014-MINAM, aprobó las disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO), cuya finalidad es establecer un conjunto de acciones orientadas a la recopilación, evaluación y sistematización de información referida a la emisión y remoción de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que contribuirá a la formulación de políticas, y planes de desarrollo que reduzcan las emisiones de GEI y al cumplimiento de los compromisos asumidos por el país con la suscripción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

Asimismo, a través de la Resolución Ministerial N° 168-2016-MINAM, el MINAM aprobó las guías para la elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero (RAGEI) y la difusión del inventario nacional de gases de efecto invernadero, definiendo su aplicación según la entidad competente. De acuerdo con esta resolución, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) es la entidad encargada de la elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del Sector Desechos, categoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales, subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas.

La Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) del MVCS, en su calidad de punto focal de cambio climático a nivel sectorial, presenta el RAGEI 2019 del sector Desechos, subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas.

2 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR

A enero 2020, el 74,9% de la población (24,338,867 personas) accede al sistema de alcantarillado por red pública dentro de la vivienda o fuera pero dentro del edificio; siendo mayor en el área urbana (90,2%) que lo registrado en el área rural (19,0%). Esto ha implicado un crecimiento sostenido desde el 2015, cuando el valor estimado fue de 70.1%.² Del 25 % que no accede a sistemas de red de alcantarillado, se registra el uso de pozo ciego o negro (9,0%), pozo séptico (5,4%), letrina (2,3%), por río, acequia o canal (1,3%) y el 7,0% no tiene ningún tipo de servicio de eliminación de excretas.

Dentro de la población del ámbito urbano, el 9,9% no tiene sistema de red pública de alcantarillado, mientras que en el ámbito rural el valor es del 81,0% de la población.²

Tabla N° 1 Cobertura en agua y alcantarillado en zona urbana y de disposición sanitaria de excretas– 2019

Forma de eliminación de excretas	Año 2019
Urbana	
Por red de alcantarillado	90.1
Sin red de alcantarillado	9.9
Letrina	0.4
Pozo séptico	1.2
Pozo ciego o negro	3.9
Rio, acequia, canal	1.1
No tiene	3.2
Rural	
Por red de alcantarillado	18.9
Sin red de alcantarillado	81.1
Letrina	9.7
Pozo séptico	20.9
Pozo ciego o negro	27.1
Rio, acequia, canal	1.7
No tiene	21.7

Fuente: Elaboración propia con base a la información del cuadro N° 35 del Informe técnico “Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico”²

En el ámbito urbano, se cuenta con 50 Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) que son reguladas por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), de las cuales, 48 son públicas de propiedad municipal, SEDAPAL (gobierno nacional) y una Unidad Ejecutora. En el 2019 brindaron el servicio de agua potable a 18.4 millones de personas, mientras que el servicio de alcantarillado se brindó a 17.21 millones de personas³.

En el ámbito urbano atendido por EPS, la cobertura de los servicios de saneamiento ha venido incrementándose progresivamente. Así, la Sunass reporta que la cobertura de alcantarillado pasó de 81.69% en el 2015 a 84.3% en el 2019, mientras que el porcentaje de aguas residuales

² Informe técnico “Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico”, https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_1.pdf

³ Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/11/BENCHMARKING-REGULATORIO-DE-LAS-EPS-2020-DATOS-2019.pdf>

recolectadas que reciben un tratamiento previo antes de ser volcadas a un cuerpo receptor, o ser reusadas, pasó de 65.44% en el 2015 a 77.91% en el 2019. Esta información contempla que 22 EPS registraron 0% de tratamiento de aguas residuales.³

Si bien han existido mejoras en la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales de las EPS, existen aspectos que deben ser atendidos para asegurar cobertura, calidad y sostenibilidad en la prestación de los servicios. El “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de las Empresas Prestadoras 2022”, publicado por la Sunass en el año 2022, reporta que el 50% no remueve los lodos de las PTAR de tipo de lagunas de estabilización y el 50% presenta sobrecarga orgánica o hidráulica, solo el 4% tiene autorización para reúso y 1 PTAR realiza un reaprovechamiento energético del biogás producido; mientras que se identifica que existen deficiencias operativas y capacidad del personal para poder asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esto se ve reflejado en que las empresas tengan altos niveles de incumplimiento ambiental, y que 1) solo en 11 PTAR no se sobrepasó ningún parámetro de Límites Máximos Permisibles (LMP)⁴ en los 12 meses de evaluación del año 2020, 2) el 77% de las PTAR estén inscritas en Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva (RUPAP)⁵, que implica el reconocimiento de la empresa de que no cuentan con las autorizaciones de vertimiento o reúso correspondientes, no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP)⁶ para el vertimiento ni las exigencias sectoriales para reúso; debiendo formular los instrumentos de gestión ambiental correspondientes y 3) el tratamiento efectivo de aguas residuales baja 15 puntos porcentuales cuando se estima considerando parámetros de calidad ambiental de los efluentes (datos 2020).

Adicionalmente, en el ámbito urbano se registran 403 prestadores de servicios de saneamiento administrados en pequeñas ciudades (centros poblados con población urbana mayor a 15 000 habitantes, fuera del ámbito de las EPS; que son prestadores municipales, operadores especializados, organizaciones comunales, entre otros). Estas ciudades representan el 20.3% de la población del ámbito urbano (16.2% nivel nacional) y administran 782 701 conexiones de agua potable y 631 047 conexiones de alcantarillado sanitario⁷. La información sobre el servicio de tratamiento de aguas residuales de este tipo de prestadores es limitada.

En el ámbito rural existe una brecha importante de información referente al tratamiento de aguas residuales en el país. En adición a la información recogida por el INEI, los gobiernos regionales y locales son las responsables de recoger e incorporar la información al Sistema de Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural (DATASS), donde se ha ido recogiendo información sobre viviendas por tipo de eliminación sanitaria de excretas en el ámbito rural. La información al 2019 registrada en el referido sistema, contemplaba que un 19.3% de las viviendas contaba con sistema de alcantarillado con planta de tratamiento de aguas residuales.

⁴ Decreto Supremo Nº 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). Parámetros monitoreados según el protocolo de monitoreo aprobado en la Resolución Ministerial No 273-2013-VIVIENDA

⁵ Administrado por la DGAA / MVCS.

⁶ Decreto Supremo Nº 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). Los LMP, de acuerdo con la Ley No 28611, Ley General del Ambiente, son medidas de la concentración de elementos o parámetros que caracterizan a un efluente o una emisión que al ser excedida causa o tiene potencialidad de causar daños a la salud, así como al bienestar humano y al ambiente.

⁷ Resolución Ministerial Nº 399-2021-VIVIENDA. Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026

3 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL RAGEI

3.1 Organización para la elaboración del RAGEI

La elaboración del RAGEI 2019 del sector Desechos, subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas está a cargo de la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

3.2 Procedimientos y arreglos para la elaboración del RAGEI

La información requerida para la estimación de emisiones se basa en información públicamente disponible, o en información remitida por los actores involucrados. Se ha utilizado información disponible en la página web de entidades o instituciones tales como Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). Adicionalmente, se solicitó información a la SUNASS, a la Oficina de Estadística e Informática del MVCS y a la EPS Sedacusco S.A.

Anualmente, INEI recoge información sobre eliminación sanitaria de excretas a nivel nacional a través de la Encuesta Nacional de Programas Presupuestales (ENAPRES), la que representa una fuente de información para los datos de actividad estipulados por el IPCC. En el marco de la elaboración del RAGEI, dicha información se subdivide, para el ámbito urbano, con la información de tratamiento de aguas residuales del ámbito de prestación de las EPS. Ante la falta de información oficial actualizada sobre el tratamiento de efluentes de los prestadores de pequeñas ciudades, el RAGEI asume la información sobre la tipología y nivel de tratamiento de las EPS para todo el ámbito urbano con conexión a la red de alcantarillado.

Desde el 2006 las EPS reportan información a la SUNASS en el marco del sistema de captura y transferencia de datos, y en cumplimiento del Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las EPS. Para ello, las EPS ingresan información o colocan los archivos generados a través del Sistema de Transferencia y Captura de Datos – SICAP o del FTP (Protocolo de Transferencia de Información, del inglés *File Transfer Protocol*), respectivamente. La información se procesa en el Sistema de Información de EPS (SIEPS)⁸. Es esta información la que SUNASS publica y/o remite al MVCS para los fines pertinentes.

La DGAA del MVCS 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 archivos digitales, la misma que se encuentra ordenada bajo la siguiente estructura: i) Informe, ii) Planilla de cálculo, y iii) Documentos de soporte.

Para que la elaboración del RAGEI se convierta en un proceso continuo e institucionalizado, la DGAA contempla que es necesario continuar con el fortalecimiento de las capacidades internas para el correcto abordaje de todos los componentes del RAGEI en base a las directrices del IPCC,

⁸ Sunass (2017). Benchmarking regulatorio de las EPS (Datos 2016). Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/3.-Benchmarking-regulatorio-de-las-EPS-datos-2016.pdf>

asegurando que las acciones de mejora y actualización permanezcan vigentes a través de cambios de gobierno y gestión.

Los principales puntos para fortalecer las capacidades del equipo del MVCS, a la fecha de presentación del presente reporte son los relativos a: i) Aplicación y actualización de la serie temporal de emisiones aplicando el Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006 (Perfeccionamiento de 2019) ii) cuantificación de incertidumbre, incluyendo el manejo de grandes incertidumbres, iii) procesos para evaluar la incorporación de valores de juicios de experto válidos en el marco de las directrices del IPCC, iv) determinación de factores de emisión nacionales.

3.3 Control de calidad y garantía de la calidad del RAGEI

Para la elaboración del RAGEI 2019, la DGAA 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 la sección 5.3 del presente reporte.

Asimismo, el RAGEI 2019 fue sometido al control y garantía de la calidad por expertos internacionales, quienes formularon hallazgos y recomendaciones. La resolución de los hallazgos y las recomendaciones se describen en la sección 5.3 del presente reporte.

4 METODOLOGÍA APLICADA

4.1 Metodología para el cálculo de emisiones de GEI

El RAGEI del sector Desechos, categoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales, subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas, se elaboró aplicando la metodología que establece las Directrices del IPCC de 2006⁹.

Los gases estimados en las planillas de cálculo del RAGEI 2019 son metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La siguiente tabla lista dichas emisiones:

Tabla N° 2. Gases estimados en el RAGEI 2019

Codificación			Descripción	Categoría (Directrices del IPCC de 2006)	Gases GEI y precursores	GEI estimados RAGEI 2019
4			Desechos	Sector		
	4D		Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales	Categoría		
		4D1	Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas	Subcategoría	CH ₄ , N ₂ O, COVDM	CH ₄ , N ₂ O

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Las emisiones de COVDM no se han estimado en las planillas de cálculo del RAGEI 2019, debido a falta de información oficial nacional relativa a volúmenes (en m³) de aguas residuales que pasan por una planta de tratamiento. Sin embargo, es posible estimar que las emisiones de COVDM de las aguas residuales tratadas por las EPS en el 2019 es de 14.2 t (rango de entre 4.7 y 47.2 t) siguiendo las referencias metodológicas de las Directrices del IPCC de 2006.¹⁰

La siguiente tabla muestra la categoría y subcategorías relacionadas al presente RAGEI. A pesar de que no se han realizado modificaciones a las categorías propuestas en las Directrices del IPCC de 2006, la subcategoría 4D1 se ha subdividido en dos categorías de tercer orden, a fin de visualizar las emisiones de metano y las emisiones de óxido nitroso por separado.

Tabla N° 3. Categoría y subcategorías para fines del RAGEI 2019

Codificación			Nombre	Comentarios
4			Desechos	Nombre original de la categoría IPCC
	4D		Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales	Nombre original de la categoría IPCC
		4D1	Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas	Nombre original de la categoría IPCC

⁹ No contempla la incorporación de las Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006.

¹⁰ EMEP 2019, Capítulo 5, Categoría 5D, Página 6. Disponible en:
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/5-waste/5-d-wastewater-handling/view>

Codificación				Nombre	Comentarios
			4D1a	Emisiones de metano	Desagregación propuesta para precisar los cálculos de metano en el RAGEI
			4D1b	Emisiones de óxido nitroso	Desagregación propuesta para precisar los cálculos de óxido nitroso en el RAGEI

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

4.2 Metodología para el análisis de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre son parte de las orientaciones para que los inventarios serán exhaustivos. Facilitan la priorización de los esfuerzos y asignación de los recursos en el proceso de elección metodológica y de mejora de la calidad (exactitud) de las estimaciones, y permite comprender 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, el cual utiliza la ecuación de propagación de errores mediante reglas de combinación. Se determina 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 (2000).

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 introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales es igual a $\pm 118.17\%$.

Tabla N° 4. Análisis de incertidumbre RAGEI 2019

Código de sector y categorías de fuentes	Categoría del IPCC	Gas	Incetidumbre en los datos de nivel de actividad	Incetidumbre en el factor de emisión	Incetidumbre combinada	Incetidumbre en la tendencia
4	Desechos					
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales					
	4D1	Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas				
	4D1a	Emisiones de metano	CH ₄	60.42%	58.31%	83.96%
	4D1b	Emisiones de óxido nitroso	N ₂ O	33.99%	500.00%	501.15%
						118.17%

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

4.3 Metodología para garantizar la coherencia de la serie temporal

Para la estimación de las emisiones de GEI del año 2019 y el recalcu de la serie temporal¹¹ ha aplicado la misma metodología y fuentes de información. Sin embargo, dado que el nivel de información no es homogéneo para el periodo 1994-2019 y que es necesario buscar la consistencia de las estimaciones y completar los datos faltantes, se han aplicado las siguientes técnicas de empalme disponibles en las Directrices del IPCC de 2006:

- **Interpolación**¹²: 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.
- **Datos subrogados**¹³: se utiliza para simular una tendencia cuando no existe una clara, relacionando los datos a estimar con el dato subyacente o el inmediato disponible. Para el caso de aguas residuales domésticas se puede utilizar a la población como proxi.

¹¹ Incluye el recalcu de los inventarios 2016, 2014, 2012, 2010, 2005, 2000.

¹² 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

¹³ Directrices del IPCC de 2006. Volumen 1. Orientación General y reportes Capítulo 5. Consistencia de la serie temporal. Sección 5.3.3.2 Pág. 5.10. Disponible en https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_5_Ch5_Timeseries.pdf

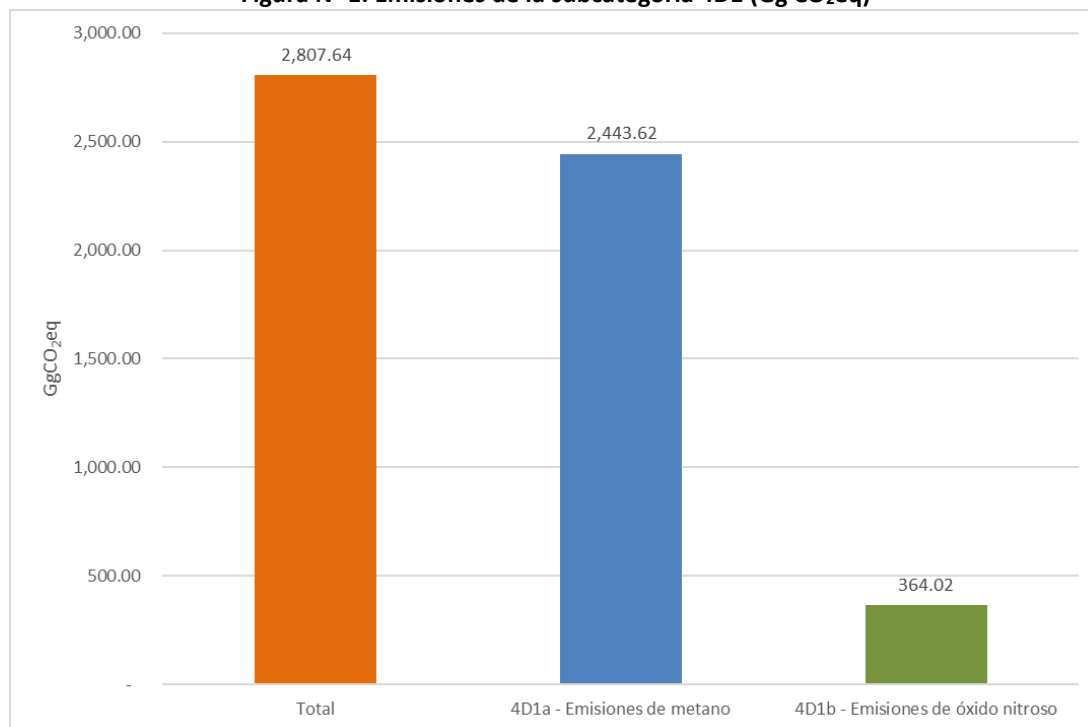
5 RESULTADO SUBCATEGORÍA TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, la subcategoría 4D1 “Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas”, pertenece a la categoría denominada “Tratamiento y Eliminación de aguas residuales” (4D) del sector Desechos (4).

A fin de facilitar la interpretación de los resultados del presente RAGEI, la subcategoría 4D1 se ha subdividido en dos categorías de tercer orden: 4D1a y 4D1b, en relación con el tipo de GEI generado, metano y óxido nítrico respectivamente.

Las emisiones del año 2019, presentadas en la siguiente figura se han estimado en 87.27 Gg de CH₄ y 1.37 Gg de N₂O, que equivalen respectivamente a 2,443.62 Gg CO₂eq y 364.02 Gg CO₂eq. El resultado agregado de la estimación de las emisiones de la subcategoría de Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas equivale a 2,807.64 Gg CO₂eq.

Figura N° 1. Emisiones de la subcategoría 4D1 (Gg CO₂eq)



Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Tabla N° 5. Resultados de las estimaciones de emisiones de la Sub-Categoría 4D1

Categorías	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM	SO ₂	(*) GgCO ₂ eq
	(Gg)							
4 DESECHOS								
4A Eliminación de Desechos Sólidos								
4B Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos								
4C Incineración e incineración abierta de desechos sólidos								
4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales								
4D1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas		87.27	1.37	NA	NA	NA	NA	2,807.64
4D2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales								

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

NA: No Aplica

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

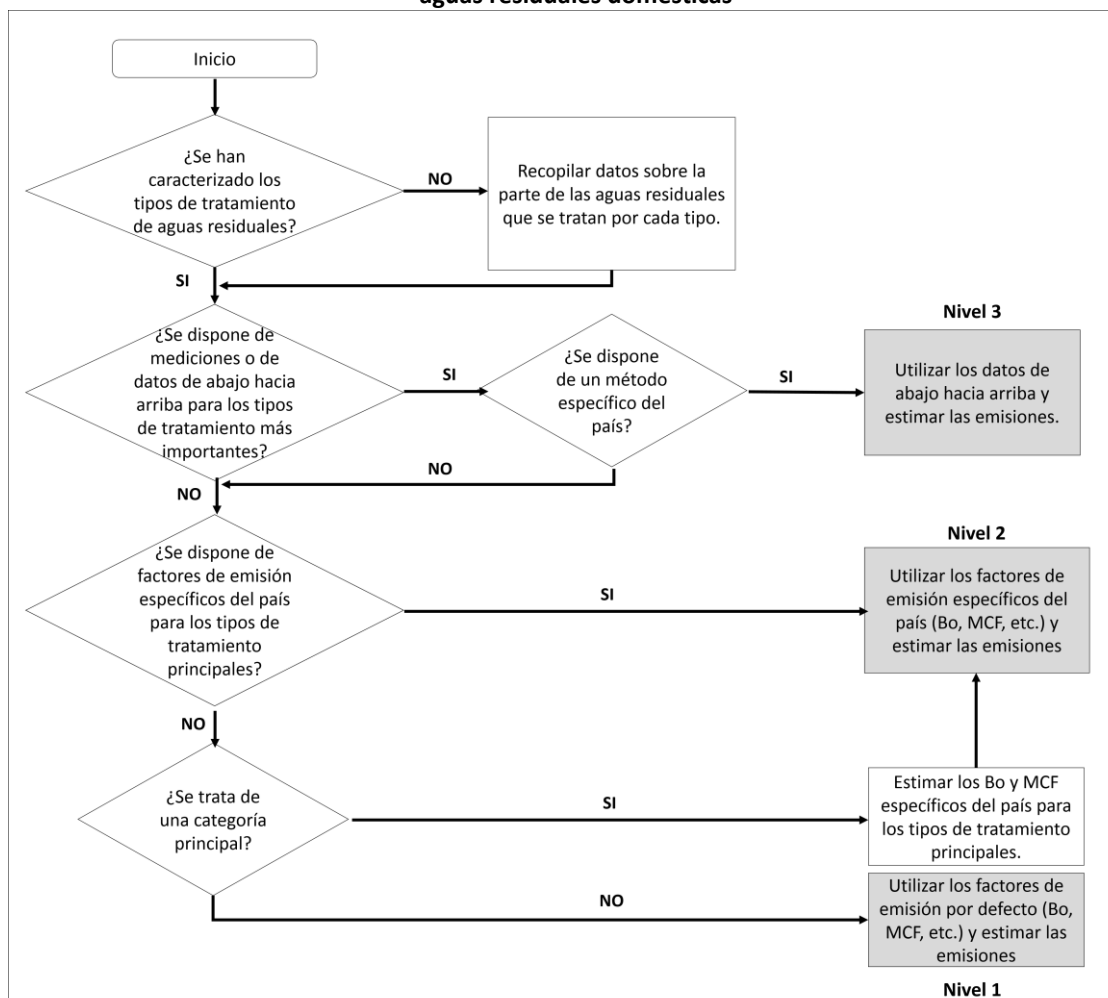
5.1 Fuente 4D1a: Emisiones de metano CH₄

A continuación, se detalla la metodología aplicada para la estimación de emisiones de metano (4D1a).

5.1.1 Método de cálculo

La siguiente figura presenta el árbol de decisión aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas establecido en las Directrices del IPCC de 2006. El método de cálculo fue seleccionado en base a la información disponible para esta subcategoría.

Figura N° 2. Árbol de decisión para las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas



Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Pág. 6.10

Nota: 1. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

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

- Existe una caracterización general de los tipos de tratamiento a nivel nacional (formas de eliminación de excretas según área de residencia o tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales de las EPS).
- No existe información específica de cada planta de tratamiento de aguas residuales y sistema eliminación de aguas residuales domésticas para la estimación anual de las emisiones de GEI (volumen de agua tratado por cada infraestructura, producción de lodos, entre otros).
- No se dispone de factores de emisión específicos para cada tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas en el país.
- Las emisiones de metano de la categoría 4D son consideradas principales en el INGEI 2016. Sin embargo, no existen actualmente valores de Bo y MCF específicos del país.

Por lo anterior, el árbol de decisiones sugiere estimar las emisiones de metano procedentes del tratamiento y eliminación de las aguas residuales domésticas aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006.

Los pasos para aplicar el método del Nivel 1 se detallan a continuación:

Paso 1: Estimación el contenido total de carbono orgánico degradable (TOW por sus siglas en inglés) en las aguas residuales domésticas

Para estimar el TOW en las aguas residuales domésticas se aplicó la Ecuación 6.3 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 6.3. Materia orgánica degradable total en aguas residuales domésticas

$$TOW = P \times DBO \times 0.001 \times 365$$

Donde:

TOW	=	Total de materia orgánica en las aguas residuales domésticas del año del inventario (kg DBO/año)
P	=	Población nacional en el año del inventario (personas)
DBO	=	DBO per cápita específico del país en el año del inventario (g/persona/día)
0.0001	=	Conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO
I	=	Factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en el alcantarillado. (Si es recolectado el valor por defecto es 1.25, si no es recolectado el valor por defecto es 1.00)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.3. Pág. 6.14.

Para el caso de la población, las Directrices del IPCC de 2006 instan a utilizar el total de población tanto urbana como rural, para lo cual se ha utilizado la información disponible por parte del INEI.

Las Directrices del IPCC de 2006 proponen valores por defecto para DBO per cápita nacional; sin embargo, no existe uno específico para el Perú y el país posee un valor referencial de DBO nacional como parte de la Norma OS.090, Plantas de tratamiento de Aguas Residuales, la cual forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones¹⁴. La referida norma técnica contempla un valor per cápita de DBO para aguas residuales domésticas de 50 g/hab.día¹⁵, el cual es aplicado como valor referencial promedio nacional para las estimaciones en el presente RAGEI.

Respecto al factor de corrección para DBO industrial, a solicitud del Minam, se utiliza el valor por defecto de 1 dado que las emisiones del tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales serán estimadas en la subcategoría 4D2 bajo el supuesto de que todas las industrias tienen tratamiento in situ de sus aguas residuales industriales. Tomando en cuenta este supuesto aplicado para el cálculo del INGEI para la subcategoría 4D2, el factor de ajuste “I” de la Ecuación 6.3 de las Directrices del IPCC de 2006 en el presente reporte, debe ser fijado en 1 para evitar la doble contabilidad de las emisiones en la Categoría 4D.¹⁶

¹⁴ Aprobado mediante Decreto Supremo N° 011- 2006-Vivienda. cap. 4.3, Art. 4.3.6, p.

¹⁵ Valor similar al estimado por las Directrices del IPCC de 2006 para Brasil.

¹⁶ El supuesto para la subcategoría (Tratamiento y Eliminación de aguas residuales industriales) se realizó pese a que no se conoce la cantidad de industrias que poseen plantas de tratamiento in situ para facilitar la mejora futura del inventario, ya que el MINAM desea fomentar de esta forma la obtención de información por parte de las diferentes industrias. Asimismo, es importante mencionar que existen valores máximos admisibles para los efluentes industriales en el alcantarillado, para evitar la afectación de los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales.

Paso 2: Elegir las vías y los sistemas según los datos de actividad del país y estimar el factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas.

La figura 6.1 de las Directrices del IPCC de 2006 presenta las vías y sistemas de tratamiento de aguas residuales, sobre algunos de los cuales se desarrolla en marco metodológico para la estimación de emisiones.

Para poder estimar el factor de emisión de los tipos de tratamiento de las aguas residuales domésticas, primero se obtiene la información sobre los tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas y/o formas de eliminación sanitaria de excretas a nivel nacional para luego ser clasificados de acuerdo con el Cuadro 6.3, pág. 13 de las Directrices del IPCC de 2006.

El cálculo del factor de emisión para cada tipo de tratamiento y/o forma de eliminación sanitaria de excretas se determina en función a la capacidad máxima de producción de metano y del Factor de Corrección de Metano (FCM) asociado a cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas, de acuerdo con la ecuación 6.2 de las Directrices del IPCC de 2006.

Ecuación 6.2. Factor de emisión de CH₄ para cada tipo de tratamiento o eliminación de aguas residuales domésticas

$$EF_j = B_o \times FCM_j$$

Donde:

- EF = Factor de emisión (kg CH₄/kg de DBO)
- j = Vía o sistema de tratamiento y/o eliminación
- B_o = Capacidad máxima de producción de CH₄ (kg de CH₄/ kgDBO)
- FCM_j = Factor de corrección de metano (fracción)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.2. Pág. 6.12.

Las Directrices del IPCC de 2006 instan a los países a utilizar su propio valor de capacidad máxima de producción de CH₄ como una buena práctica, al igual que utilizar valores propios del FCM. Sin embargo, dado que el país no cuenta con valores propios, para la presente estimación se utilizan los valores por defecto dado por las Directrices del IPCC de 2006 para las aguas residuales domésticas listadas en los cuadros 6.2 y 6.3 del capítulo 6 “Tratamiento y eliminación de aguas residuales”.

Paso 3: Estimación de emisiones totales de metano de aguas residuales domésticas

Para estimar las emisiones totales de metano de aguas residuales domésticas, las Directrices del IPCC de 2006 proponen la ecuación 6.1.

Ecuación 6.1. Emisiones totales de metano procedentes de las aguas residuales domésticas

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \times T_i \times EF_j) \right] \times (TOW - S) - R$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = Emisiones de CH₄ durante el año del inventario (kg de CH₄/año)
- U_i = Fracción de la población del grupo de ingresos i en el año del inventario.
- T_{i,j} = Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario.
- EF_j = Factor de emisión (kg de CH₄/kg de DBO)
- TOW = Total de materia orgánica en las aguas residuales domésticas del año del inventario (kg de DBO/año)
- S = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (kg de DBO/año)
- R = Cantidad de CH₄ recuperado durante el año del inventario (kg de CH₄/año)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.1, Pág. 6.11

Las Directrices del IPCC de 2006 sugieren diferenciar poblaciones según su nivel de ingresos ya que pueden existir variaciones en la descarga y tratamiento de aguas, determinando que la fracción de la población se clasifique en población rural, urbana-alta y urbana-baja. En el Perú no existe información que evidencie diferencias en el tratamiento de aguas residuales asociadas al nivel de renta en el ámbito urbano, existiendo abordajes diferenciables solo entre las intervenciones del ámbito rural y del urbano. Por este motivo, los parámetros utilizados para zonas urbanas (ya sean de alto o bajo ingreso) son los mismos. Así, las estimaciones realizadas para obtener emisiones de CH₄ sólo diferencian entre los ámbitos urbano y rural.

Las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 (IPCC, 1997) incluían ecuaciones diferentes para la estimación de las emisiones provenientes de las aguas residuales y de los lodos separados de ellas. Esta distinción se ha eliminado en las Directrices del IPCC de 2006 porque las capacidades de generación de CH₄ de los lodos y de las aguas residuales con sustancias orgánicas disueltas son generalmente las mismas y no requieren de ecuaciones diferentes. Cuando la información sobre lodos se encuentra disponible, esta se puede utilizar para mejorar la estimación de emisiones. Asimismo, las Directrices del IPCC de 2006 permiten considerar la recuperación de CH₄.

En el presente RAGEI, no se contempla el componente orgánico separado como lodo, debido a limitaciones en la información sectorial disponible. Por otro lado, se contemplan los volúmenes de recuperación de biogás por parte de una empresa prestadora de servicios de saneamiento, lo que implica considerar valores de recuperación desde el año 2016.

5.1.2 Datos de actividad

Los datos de actividad se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 6. Datos nacionales utilizados en la estimación de emisiones de metano del año 2019 – 4D1a

Fuente de emisión	Definición IPCC	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	TIER /Nivel	Fuente de Información	Uso de la información
Desechos							
Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales							
Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas							
Emisiones de metano	Emisiones de CH ₄ generadas por el tratamiento y eliminación de agua residual doméstica en condiciones anaeróbicas.	Población humana	Población total, urbana y rural	personas	1	INEI. Series Nacionales. Disponible en http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/ Población urbana y rural de 2000 a 2015 y Población nacional de 1994 a 2021.	Estimación del Contenido orgánico degradable en el agua
		DBO por persona	DBO ₅	g/hab.día	1	MVCS (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo Nro. 011-2006-Vivienda. Norma OS.090, Plantas de tratamiento de Aguas Residuales, cap. 4.3, Art. 4.3.6, p.	
		Fracción del grupo de ingresos de la población (U)	Población total, urbana y rural	personas	1	INEI. Series Nacionales. Disponible en http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/ Población urbana y rural de 2000 a 2015 y Población nacional de 1994 a 2021.	
		Grado de utilización del sistema de tratamiento y/o eliminación (Ti,j)	Aguas residuales domésticas tratadas y eliminadas por tipo de tratamiento	-	1	SUNASS (2022). Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas. Disponible en el archivo "SUNASS Información PTAR.xls". Incluye datos de tecnologías, condiciones operativas, volúmenes de tratamiento reportadas por la SUNASS.	Estimación del FE
				-	1	Información de censos 1993, 2005 y 2007. INEI. Base de datos Redatam de "Censos Nacionales 1993: IX de Población y IV de Vivienda", "Censos Nacionales 2005: X de Población y V de Vivienda" y "Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda". Disponible en: https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/	
				-	1	Distribución nacional de formas de eliminación de excretas. INEI (2020), "Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico", Cuadro N° 35 Perú: Población con formas de eliminar las excretas, según área de residencia, 2012 - 2019	
				-	1	MVCS (2020). Porcentaje de viviendas por tipo de eliminación sanitaria de excretas en el ámbito rural 2018 - 2020, Disponible en el archivo MVCS (2020). Sistemas Eliminación Excretas - VIVIENDA 2018 – 2020.xls	
		Factor de corrección para DBO industrial	Factor de corrección para DBO industrial	-	1	Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.3, pág. 6.14.	Estimación del contenido

Fuente de emisión	Definición IPCC	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	TIER /Nivel	Fuente de Información	Uso de la información
		adicional eliminado en alcantarillas (l)	adicional eliminado en alcantarillas (l)				orgánico degradable en el agua
		Sistema de tratamiento de los lodos empleados para las aguas residuales domésticas	NE				
		Fracción de los lodos tratados por el sistema de tratamiento (%)	NE				
		Metano Recuperado y/o quemado en antorcha (kg de CH ₄)	Producción y quema de biogás	m ³	1	Información remitida por la EPS Sedacusco S.A.	Estimación de emisiones de metano

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

NE: No estimado

Población total, urbana y rural

Con el objetivo de cumplir con lo establecido en las Directrices del IPCC de 2006 donde se insta a que la estimación de las emisiones tome en cuenta la población total nacional, se ha obtenido datos de población de las Series Nacionales del INEI donde existe información anual de población urbana y rural para el periodo 2000 a 2015 y data de población nacional para el periodo 1994 a 2019.

Tabla N° 7. Fuente de información y supuestos utilizados para la población urbana y rural en la serie temporal 1994 – 2019

Población	Fuente de información y supuestos utilizados
Población de 1994 a 2019	INEI - Series Nacionales. Disponible en https://webapp.inei.gob.pe:8443/sirtod-series/ La información faltante de población desagregada por ámbito (rural y urbano) se estima utilizando la técnica de datos subrogados, tomando como proxy la población total, urbana y rural del año más reciente disponible. Se considera como supuesto de la estimación que el ratio de población urbana/población total y el ratio de población rural/población total de dicho año es el mismo para los años anteriores.

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

Tabla N° 8. Población urbana y rural utilizada para la serie temporal 1994 – 2019

Año	Población total nacional	Población	
		URBANA	RURAL
1994	23,501,974	15,997,876	7,504,098
1995	23,926,300	16,286,716	7,639,584
1996	24,348,132	16,573,858	7,774,274
1997	24,767,794	16,859,524	7,908,270
1998	25,182,269	17,141,658	8,040,611
1999	25,588,546	17,418,213	8,170,333
2000	25,983,588	17,687,119	8,296,469
2001	26,366,533	18,112,915	8,253,618
2002	26,739,379	18,534,702	8,204,677
2003	27,103,457	18,953,109	8,150,348
2004	27,460,073	19,368,782	8,091,291
2005	27,810,540	19,782,408	8,028,132
2006	28,151,443	20,191,318	7,960,125
2007	28,481,901	20,594,600	7,887,301
2008	28,807,034	20,995,699	7,811,335
2009	29,132,013	21,398,222	7,733,791
2010	29,461,933	21,805,837	7,656,096
2011	29,797,694	22,219,201	7,578,493
2012	30,135,875	22,635,742	7,500,133
2013	30,475,144	23,054,394	7,420,750
2014	30,814,175	23,474,069	7,340,106
2015	31,151,643	23,893,654	7,257,989
2016	31,488,625	24,152,123	7,336,502
2017	31,826,018	24,410,907	7,415,111

Año	Población total nacional	Población	
		URBANA	RURAL
2018	32,162,184	24,668,750	7,493,434
2019	32,495,510	24,924,415	7,571,095
2020	32,824,358	25,176,645	7,647,713

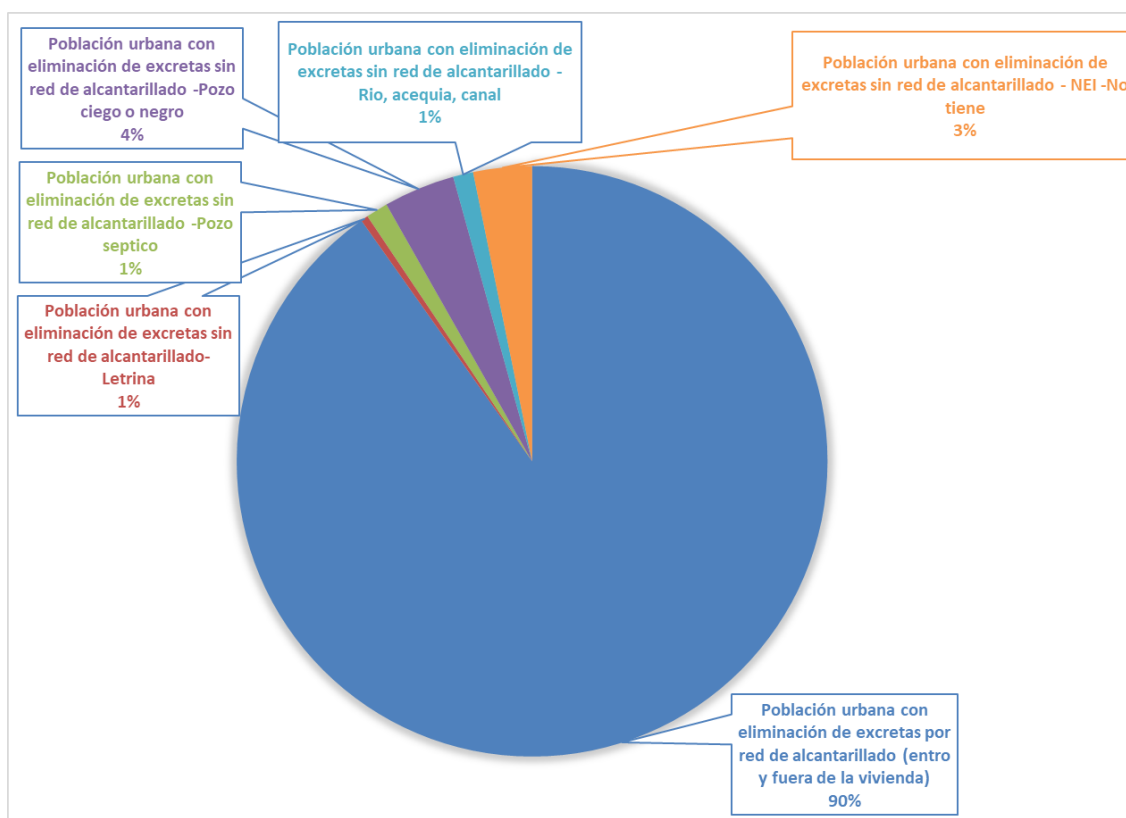
Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

Sistemas de descarga, tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas

En línea con las Directrices del IPCC de 2006, las emisiones de metano en el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas incluyen las emisiones generadas en todos los tipos de descargas y tipos de tratamientos a nivel nacional. El factor de emisión aplicado a cada tipo de descarga y tratamiento es específico, como se describe en la sección 5.1.

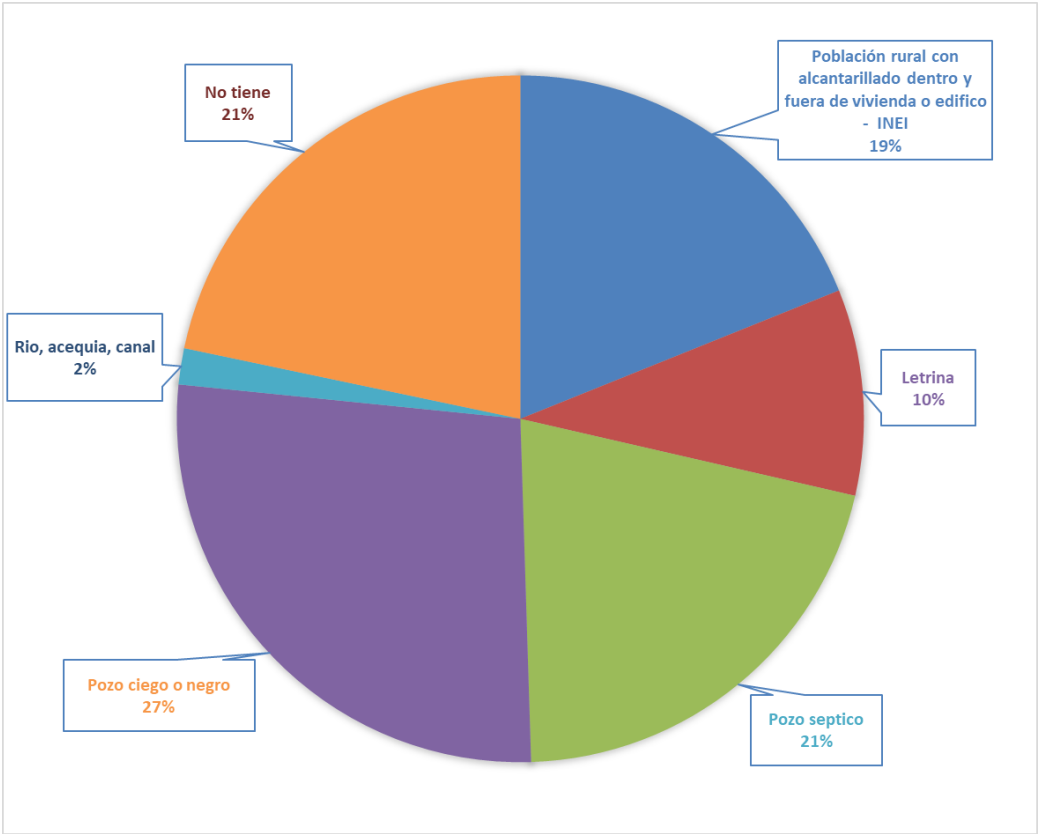
De acuerdo con lo indicado en la sección 3.2, el INEI a través de la ENAPRES, recoge información nacional sobre las formas de eliminar las excretas según área de residencia (urbana y rural). Las siguientes figuras muestran la distribución a nivel rural y urbano para el año 2019.

Figura N° 3. Formas de eliminación sanitaria de excretas – urbano, 2019



Fuente: Planilla de cálculo del RAGEI 2019, "IB 4D1a - Tipos de tratamiento"

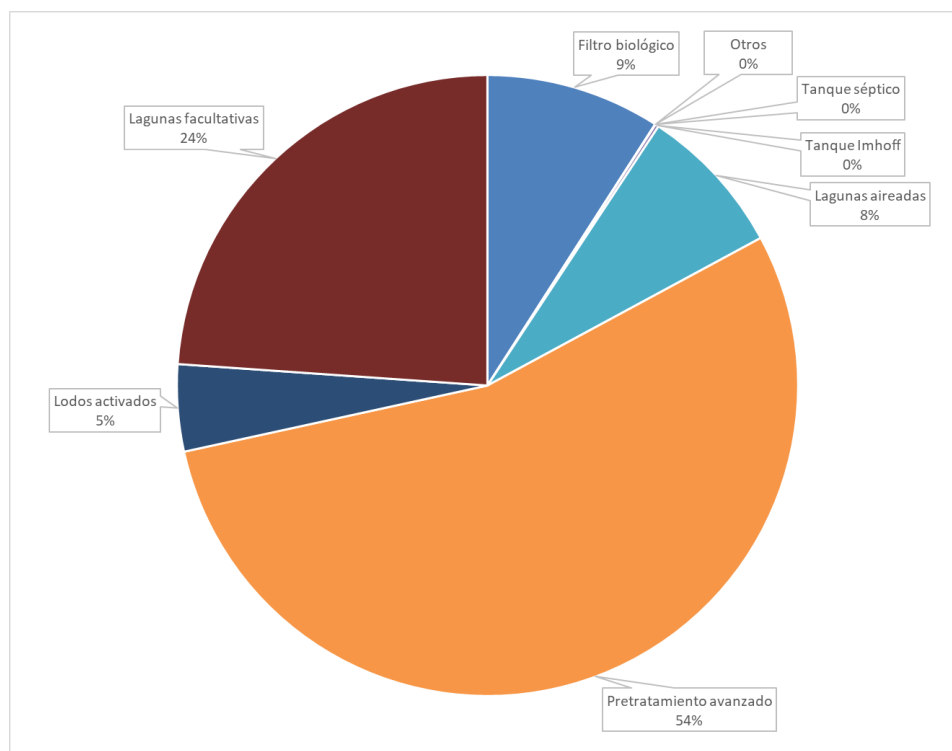
Figura N° 4. Formas de eliminación sanitaria de excretas – rural, 2019



Fuente: Planilla de cálculo del RAGEI 2019, “IB 4D1a - Tipos de tratamiento”

Con respecto a la gestión del agua residual en el ámbito de las EPS, se cuenta con información actualizada de tipos de tratamiento y condiciones operativas a través del último “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de las Empresas Prestadoras”, presentado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) el año 2022 con información del 2021. La siguiente figura contiene la distribución según tipo de tratamiento reportado, ponderado con los caudales de entrada.

Figura N° 5. Tipos de tratamiento y porcentaje de participación en el tratamiento de aguas residuales domésticas de las EPS, 2021



Fuente: Planilla de cálculo del RAGEI 2019, "IB 4D1a - Tipos de tratamiento"

Dado que se cuenta con información detallada de tipos de tratamiento en el ámbito de las EPS para el 2021 y 2018, remitidos por la SUNASS, se contempla en el presente RAGEI que la distribución porcentual del 2021 aplica al 2020 y 2019, mientras que la distribución del 2018, aplica para el 2017. Para los años previos al 2015, se utilizaron las mismas tecnologías y distribución el año 2018, a excepción del pretratamiento avanzado, para el cual se estima una progresión de incorporación con la técnica de interpolación de datos¹⁷.

En el caso del ámbito rural, el presente RAGEI contempla como supuesto que la información del Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el ámbito rural - DATASS puede permitir desagregar el porcentaje de población con sistema de alcantarillado (dato INEI) que termina en una PTAR y la que no termina en una PTAR. Es relevante mencionar que este supuesto tiene un nivel de incertidumbre no determinable al momento de la elaboración del RAGEI, debido a que la base de datos se encuentra en una fase de desarrollo y consolidación¹⁸, por lo cual será una variable susceptible de ajuste en los siguientes RAGEI.

Tanto para el ámbito rural como en el urbano, el RAGEI 2019 contempla nuevas fuentes de información sobre los sistemas y vías de tratamiento, y por tanto supuestos diferentes a lo estipulado en el RAGEI 2016. Asimismo, las estimaciones contemplan la recuperación de biogás

¹⁷ Tomando en consideración que i) el inicio de operaciones de PTAR Taboada se realiza en el 2013 y la Chira en 2016; ii) según la información de los Benchmarking Regulatorios, el % de tratamiento de aguas residuales de Sedapal se incrementó progresivamente desde 2013 hasta 2017. Es un supuesto para evitar el cambio abrupto de 0% de participación de Pre tratamiento avanzado al 52,11% reportado por Sunass para el 2018 para cuando ya se encuentran ambas PTAR en operación.

¹⁸ Información con base al informe de la Oficina de Estudios Estadísticos y Económicos del MVCS.

por parte de un prestador de servicios de saneamiento basado en información directamente reportada por representantes de dicha institución.

5.1.3 Factores de emisión y de conversión

Para la estimación de las emisiones de metano, se requiere utilizar un factor de emisión específico para cada vía o sistema de tratamiento y eliminación utilizado en el país, clasificados según los que establecen las Directrices del IPCC de 2006.

Es por ello, que se realizó la correspondencia de los tipos de descarga y tratamientos de las aguas residuales domésticas y la disposición sanitaria de excretas nacionales con la clasificación establecida en las Directrices del IPCC de 2006.

La correspondencia que se muestra en la Tabla N° 8, se realizó con base a la evaluación realizada para el RAGEI 2016, contemplando así, el juicio experto del revisor de inventarios nacionales del sector Desechos, Juan Martín Ortega, quien tomó en consideración los supuestos aplicados en inventarios de otros países, y el juicio de experto aplicado desde la DGAA. Asimismo, para el RAGEI 2019 se contempla realizar una diferenciación entre plantas “bien operadas” y “mal operadas” en el ámbito de las EPS (urbano), de acuerdo a la clasificación de las Directrices del IPCC de 2006 y con base a la información de sobrecarga hidráulica y orgánica presentada por la Sunass a través del Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de las Empresas Prestadoras - 2022. Finalmente, como supuesto simplificador ante la falta de información detallada de los sistemas a nivel nacional, se asocia la falta de tratamiento, recolectada o no, con el MCF por defecto dispuesto para la eliminación de efluentes en ríos, lagos o mares.

Tabla N° 9. Correspondencia de los tratamientos nacionales o sistemas de eliminación de excretas con los tratamientos de las Directrices del IPCC de 2006 - urbano

Tipo	Correspondencia con las Directrices del IPCC de 2006
Pretratamiento avanzado	Eliminación en río, lago y mar
Lagunas facultativas	Bien operadas: Laguna anaeróbica poco profunda
	Mal operadas, sobrecargadas: Laguna anaeróbica profunda
Lagunas aireadas	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Bien operada
	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Bien operada
Lagunas anaerobias	Laguna anaeróbica profunda
Lodos activados	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Mal operada. Sobrecargada.
	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Bien operada
Tanque Imhoff	Laguna anaeróbica profunda (y otros tratamientos anaeróbicos de similar FCM)
Tanque séptico	Sistema séptico
Filtro biológico	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Bien operada
	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Bien operada
Zanjas de oxidación	Planta de tratamiento centralizado aeróbico. Mal operada. Sobrecargada.
Otros	Laguna anaeróbica profunda (y otros tratamientos anaeróbicos de similar FCM)
Letrina	Letrina, Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)
Pozo séptico	Sistema séptico

Tipo	Correspondencia con las Directrices del IPCC de 2006
Pozo ciego o negro	Sistema séptico
Río, acequia, canal	Eliminación en río, lago y mar
No tiene	Eliminación en río, lago y mar

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

Tabla N° 10. Correspondencia de los tratamientos nacionales o sistemas de eliminación de excretas con los tratamientos de las Directrices del IPCC de 2006 – rural

Tipo	Correspondencia con las Directrices del IPCC de 2006
Alcantarillado con PTAR	Laguna anaeróbica poco profunda
Alcantarillado sin PTAR	Eliminación en río, lago y mar
Letrina	Letrina, Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)
Pozo séptico	Sistema séptico
Pozo ciego o negro	Sistema séptico
Río, acequia, canal	Eliminación en río, lago y mar
No tiene	Eliminación en río, lago y mar

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

Una vez realizada la correspondencia de los tratamientos y disposición sanitaria de excretas, se procede a seleccionar el FCM respectivo con base en los valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006.

Con esta información se estima el factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y eliminación utilizado en el país, multiplicando para caso el MCF por el valor por defecto de la capacidad máxima de producción de CH₄ (0.6 kg CH₄/kg CBO). Los factores de emisión se han mantenido constante para el periodo 1994 – 2000.

La selección de la fracción de corrección para efluentes industriales y el componente orgánico degradable se realiza con base a lo detallado en la sección 5.1.1, siendo 1 y 50 g/hab.día los valores aplicados para el 2019 respectivamente. Sobre el uso de un solo valor de DBO referencial tanto para el ámbito urbano como el rural, se precisa que es un supuesto simplificador del RAGEI debido a limitaciones de información oficial al momento de su elaboración¹⁹.

La siguiente tabla muestra parámetros por defecto utilizados para la estimación de las emisiones de metano de aguas residuales aplicando las Ecuaciones 2-4 del presente reporte.

¹⁹ La revisión de un experto sectorial, orienta que la contribución per cápita actual en el ámbito urbano se acerca a los 60 g/hab.día, mientras que para el ámbito rural, este valor estaría rondando los 25 g/hab.día. (León, 2021)

Tabla N° 11. Parámetros por defecto utilizados en la estimación de las emisiones de metano de aguas residuales – 4D1a

Fuente de emisión	Factor	Valor	Unidad	Fuente de información
Emisiones de metano	Factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en alcantarillas	1	Adimensional	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.3, Pág. 6.14.
	Factor de Corrección de Metano por sistema de tratamiento y eliminación	Varios	Adimensional	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Tabla 6.3, Pág. 6.13.
	Capacidad máxima de producción de metano para las aguas residuales (kg CH ₄ /kg DBO)	0.6	kg CH ₄ /kg DBO	Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6, Tabla 6.3, Ecuación 6.2, Pág. 6.12.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Finalmente, para expresar las emisiones de metano en CO₂eq se utilizó el Potencial de Calentamiento Global (PCG)²⁰ proporcionado por el IPCC en su Quinto Informe de Evaluación basados en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de 100 años. Esto es un cambio respecto a los RAGEI previos donde se utilizaba el valor del IPCC del Quinto Informe de Evaluación. El valor utilizado en el RAGEI 2019 se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 12. PCG utilizado para el Metano

Gas	PCG en un horizonte temporal de 100 años
Metano	28

Fuente: Quinto Reporte de Evaluación AR5 IPCC 2013-2014²¹, Recuadro 3.2, Tabla 1, tiempo de horizonte de 100 años.

5.1.4 Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre se ha desarrollado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006 y utilizando los valores de incertidumbre por defecto tanto para los datos de actividad como para los factores de emisión.

La incertidumbre combinada para los datos de actividad que estiman las emisiones de CH₄ es de 60.42%:

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

Código	Fuente	Dato de Actividad	Incertidumbre	Fuente
4D1a	Emisiones de metano	Población Humana	5%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006
		DBO por persona	30%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006

²⁰ El Potencial de calentamiento global (PCG) compara el forzamiento radiactivo de una tonelada de un gas de efecto invernadero en un período de tiempo dado (p. ej. 100 años) con una tonelada de CO₂. Directrices del IPCC de 2006, Capítulo 1, p. 1.5.

²¹ Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

Código	Fuente	Dato de Actividad	Incertidumbre	Fuente
		Fracción del grupo de ingresos de la población (U)	15%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006
		Grado de utilización del sistema de tratamiento y/o eliminación (Ti,j)	50%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006
Incertidumbre combinada			60.42%	

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

La incertidumbre combinada para los factores que estiman las emisiones de CH₄ es de 58.31%:

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

Código	Fuente	Factor de Emisión	Incertidumbre	Fuente
4D1a	Emisiones de metano	Capacidad máxima de producción de CH4 (Bo)	30%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006
		Fracción tratada en condiciones anaeróbicas (MCF)	50%	Cuadro 6.7, Directrices IPCC de 2006
Incertidumbre combinada			58.31%	

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Con estos valores se estima la incertidumbre combinada para las emisiones de CH₄ en 83.96% y la incertidumbre introducida en la tendencia en 123.90%.

Tabla N° 15. Valores de incertidumbre para factores de emisión

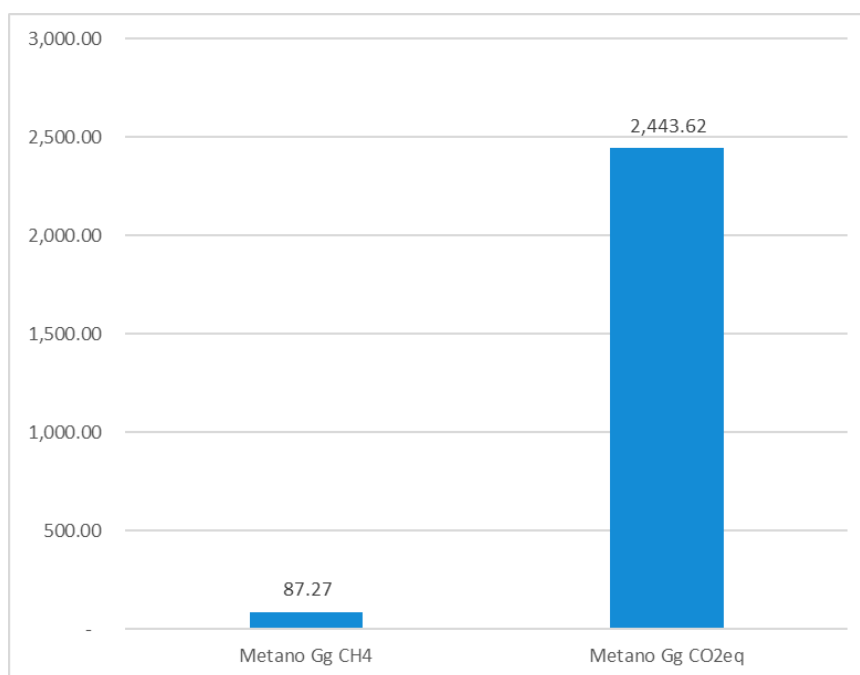
Código de sector y categorías de fuentes		Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales según fuente de emisión y GEI
4		Desechos				
4D		Tratamiento y eliminación de aguas residuales				
	4D1	Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas				
	4D1a	Emisiones de metano	CH ₄	60.42%	58.31%	83.96%

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

5.1.5 Análisis de resultados

Aplicando el método del Nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, en el año 2019 las emisiones de metano fueron 92.26 Gg de CH₄ que equivalen a 2,583.27 Gg CO₂eq, tal como se presenta en la siguiente figura:

Figura N° 6. Emisiones de metano generadas por el tratamiento de aguas residuales domésticas

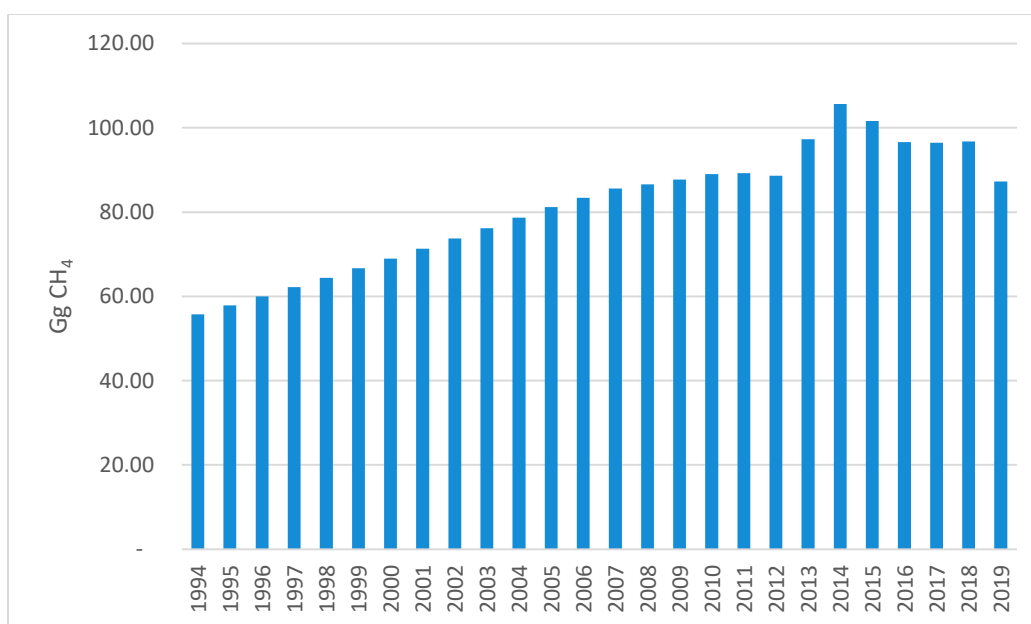


Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

5.1.6 Actualización de la serie temporal

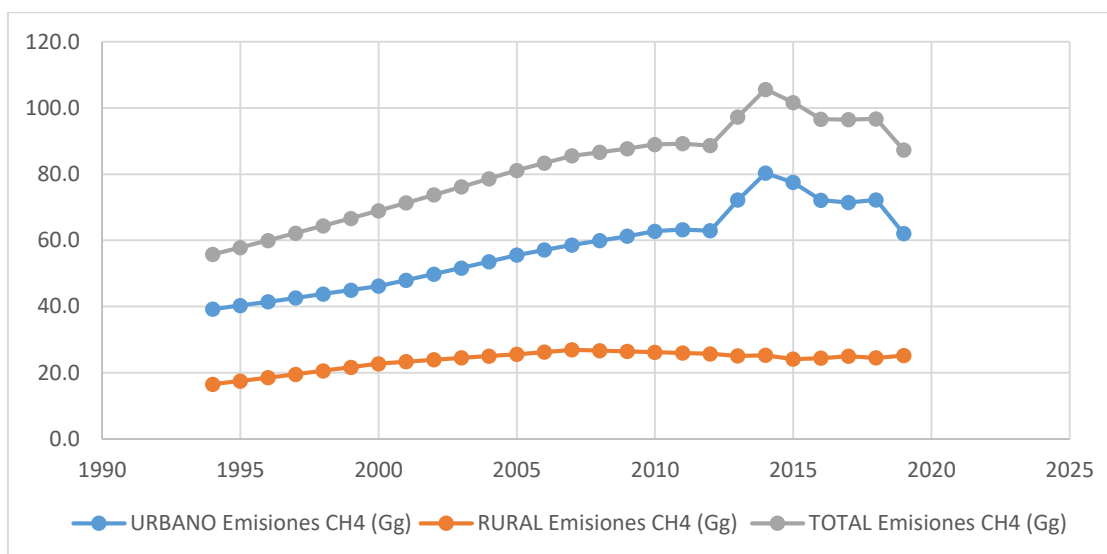
El RAGEI 2019 presenta una serie temporal de las emisiones de GEI desde el año 1994 al 2019, estimadas con la misma metodología y fuentes de información, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura N° 7. Serie temporal de emisiones de aguas residuales domésticas (Gg CH₄) – 4D1a



Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Figura N° 8. Serie temporal de emisiones de aguas residuales domésticas por tipo de GEI (Gg CH₄) – 4D1a



Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Se observa una tendencia aparente hacia la disminución de las emisiones en los últimos años de la serie, influenciado con la puesta en operación de emisores submarinos de Lima, los cuales poseen un factor de emisión bajo o igual a cero y la disminución de la participación, porcentual, de otros sistemas con mayores FE. Para el 2019, el 54.46% de las aguas residuales domésticas del ámbito de las EPS (que proveyeron el servicio de alcantarillado a más de 17 millones de personas en el referido año) es gestionada a través de emisores submarinos. Asimismo, a nivel rural, la tendencia de los últimos se registra ligeramente a la baja.

Por otro lado, las variaciones en las fuentes de información y supuestos para la determinación de las vías y sistemas de eliminación de tratamiento y eliminación en el RAGEI 2019²², así como de la actualización del factor de emisión de CH₄.²³

5.2 Fuente 4D1b: Emisiones de óxido nitroso N₂O

A continuación, se detalla la metodología aplicada para la estimación de emisiones de óxido nitroso (4D1b).

5.2.1 Método de Cálculo

De acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, se considera una buena práctica realizar la estimación de estas emisiones indirectas de N₂O derivadas de efluentes de tratamiento de aguas residuales domésticas que se eliminan en medios acuáticos aplicando la metodología indicada en ellas.

²² En el RAGEI 2019, se identifica una mayor participación porcentual de tecnologías con alto MCF (ej. lagunas anaerobias profundas, y tanques sépticos) respecto al RAGEI 2016.

²³ 33% mayor que el utilizado en el RAGEI 2016 (Segundo Informe del IPCC).

Por lo anterior, la ecuación aplicada para estimar las emisiones de óxido nitroso es la N° 6.7 de las Directrices del IPCC de 2006:

Ecuación 6.7. Emisiones de N₂O procedentes de las aguas residuales domésticas

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \text{N}_{\text{EFLUENTE}} \times \text{EF}_{\text{EFLUENTE}} \times 44/28$$

Donde:

- Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O durante el año del inventario (kg N₂O/año)
- N_{EFLUENTE} = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg N/año
- EF_{EFLUENTE} = Factor de emisión para las emisiones de N₂O procedentes de la eliminación en aguas residuales, kg N₂O/kg N
- 44/28 = Conversión de kg de N₂O-N en Kg de N₂O

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Volumen 5, Capítulo 6 Ecuación 6.7, Pág. 6.25

5.2.2 Datos de actividad

Los datos de actividad se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 16. Datos de actividad empleados en la estimación de emisiones de óxido nitroso – 4D1b

Fuente de emisión	Dato de actividad IPCC	Dato Nacional	Unidad	Fuente de Información	Uso de la información
Emisiones de óxido nitroso	Población (cifra)	Población total	personas	INEI - Series Nacionales. Disponible en https://webapp.inei.gob.pe:8443/sirtod-series/ Población urbana y rural de 2000 a 2015 y Población nacional de 1994 a 2019	Base para la estimación del total de nitrógeno en la proteína de las aguas residuales
	Consumo medio anual per-cápita de proteína en kg/persona/año	Consumo total de proteínas 1990-2007	kg/persona/año	FAO (2011). Perfil de País: Indicadores de Seguridad Alimentaria. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/document/s/food_security_statistics/country_profiles/esp/Peru_S.pdf	

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

La información proporcionada por INEI se considera representativa y oficial para el país, dado que es el órgano rector de las estadísticas nacionales. Por otro lado, ante la falta de información nacional sobre el consumo de proteína, la FAO representa una fuente oficial de información regional relevante que detalla información para el Perú de manera específica. Las estimaciones de los años 1998-1999 y 2003-2004, sin valor referencial de consumo de proteína, se estiman con la técnica de interpolación de datos, mientras que a partir del 2008 se contempla como fijo el consumo de proteína como supuesto simplificador.

La información sobre población y consumo de proteína per cápita utilizada para la serie anual del 1994 al 2019 se muestran a continuación:

Tabla N° 17. Datos de actividad para la estimación de emisiones de N₂O en aguas residuales domésticas

Año	Población total	Consumo de proteína per cápita (kg/habitante/año)
1994	23,501,974	22.995
1995	23,926,300	22.995
1996	24,348,132	22.995
1997	24,767,794	22.995
1998	25,182,269	23.117
1999	25,588,546	23.238
2000	25,983,588	23.36
2001	26,366,533	23.36
2002	26,739,379	23.36
2003	27,103,457	23.725
2004	27,460,073	24.09
2005	27,810,540	24.455
2006	28,151,443	24.455
2007	28,481,901	24.455
2008	28,807,034	24.455
2009	29,132,013	24.455
2010	29,461,933	24.455
2011	29,797,694	24.455
2012	30,135,875	24.455
2013	30,475,144	24.455
2014	30,814,175	24.455
2015	31,151,643	24.455
2016	31,488,625	24.455
2017	31,826,018	24.455
2018	32,162,184	24.455
2019	32,495,510	24.455

Fuente: Elaboración propia (DGAA- MVCS)

5.2.3 Factores de emisión y de conversión

Los factores de emisión y de conversión aplicados a la serie temporal, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N° 18. Factores de emisión y conversión utilizados – 4D2b

Fuente de emisión	Factores de emisión y conversión	Valor	Unidad	Fuente de información
Emisiones de óxido nitroso	Fracción de nitrógeno en la proteína (kg N/kg proteína)	0.16	Kg N/Kg proteína	Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.8, Pág. 6.25.
	Fracción de proteína no consumida F _{NON-CON} (kgN/kgProteína)	1.1	kg N/kg proteína	

Fuente de emisión	Factores de emisión y conversión	Valor	Unidad	Fuente de información
	Nitrógeno eliminado en lodos N_{LODO} (KgN/año)	0	Kg N/año	
	Factor de emisión del N_2O $E_{EFLUENTE}$ (kg N_2O -N/kg N)	0.005	kg N_2O -N/kg N	Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Tabla 6.11, pág. 6.37.
	Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado ($F_{IND-COM}$)	1.25	-	Directrices del IPCC de 2006. Volumen 5, Capítulo 6, Ecuación 6.8, pág. 6.25.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

Para expresar las emisiones de óxido nitroso en CO_2eq se utilizó el Potencial de Calentamiento Global (PCG) proporcionado por el IPCC, en el Quinto Informe de Evaluación basados en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de 100 años. El valor utilizado se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 191. PCG utilizado para el Óxido Nitroso

Gas	PCG en un horizonte temporal de 100 años
Óxido Nitroso	265

Fuente: Quinto Reporte de Evaluación AR5 IPCC 1995²⁴, Recuadro 3.2, Tabla 1. Tiempo de horizonte de 100 años.

5.2.4 Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre se ha desarrollado aplicando el método 1 para la estimación de incertidumbre propuesto por las Directrices del IPCC de 2006 y utilizando los valores de incertidumbre por defecto tanto para los datos de actividad como para los factores de emisión.

La incertidumbre combinada para los datos de actividad que estiman las emisiones de N_2O es de 33.99%:

Tabla N° 20. Valores de incertidumbre para datos de actividad

Código	Sub categoría	Dato de Actividad	Incetidumbre	Fuente
4D1b	Emisiones de óxido nitroso	Población Humana	10%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006
		Consumo anual de proteína per cápita	10%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006
		Fracción de nitrógeno contenido en la proteína (kg. de N/kg. de proteína)	6%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006
		Factor de ajuste para la proteína no consumida	23%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006
		Factor de descarga de proteína industrial y comercial	20%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006

²⁴ Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_i_full_report.pdf

Incertidumbre combinada	33.99%	
--------------------------------	---------------	--

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

La incertidumbre combinada para los factores que estiman las emisiones de N₂O es de 500%:

Tabla N° 21. Valores de incertidumbre para factores de emisión

Código	Sub categoría	Factor de Emisión	Incertidumbre	Fuente
4D1b	Emisiones de óxido nitroso	Factor de emisión (kg. de N ₂ O-N/kg. de N)	2495%	Cuadro 6.11, Directrices IPCC de 2006
		Factor de emisión (kg. de N ₂ O-N/kg. de N)	500%	Supuesto
Incertidumbre combinada			500.00%	

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

El valor de incertidumbre del factor de emisión (kg. de N₂O-N/kg. de N), calculado de acuerdo a los datos proporcionados en las Directrices IPCC de 2006, da un valor alto (2495%). Es por ello, que a sugerencia del experto internacional (especialista de apoyo para transición de GL 1996 a GL 2006) contratado por el Ministerio de Ambiente para el RAGEI 2016, se toma como supuesto la quinta parte de este valor, que equivale a 500%. Este supuesto se mantiene para el RAGEI 2019, sin perjuicio de que el análisis de incertidumbre pueda ser sujeto de acciones de mejora.

Con estos valores se estima la incertidumbre combinada para las emisiones de N₂O en 501.15% y la incertidumbre introducida en la tendencia en 9.84%.

Tabla N° 22. Valores de incertidumbre para factores de emisión

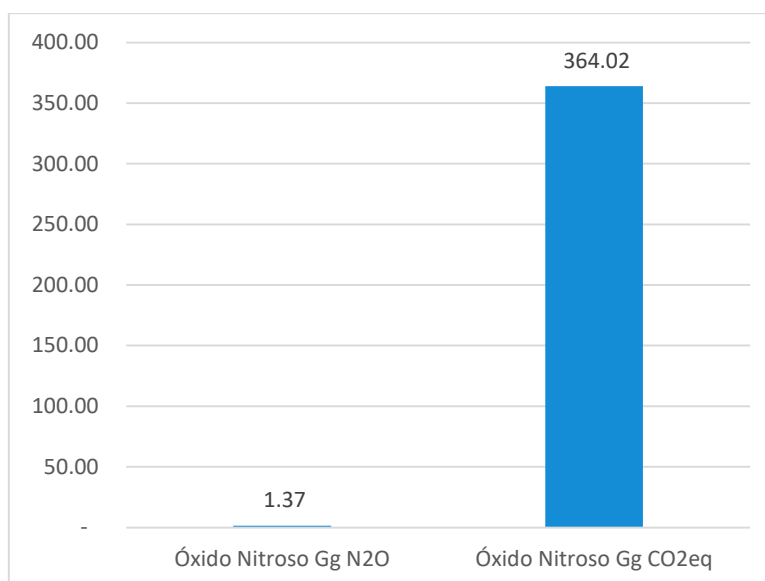
Código de sector y categorías de fuentes	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de nivel de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales según fuente de emisión y GEI
4	Desechos					
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales					
4D1	Tratamiento y Eliminación de Aguas residuales domésticas					
	4D1b	Emisiones de óxido nitroso	N ₂ O	33.99%	500.00%	501.15%
						9.84%

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

5.2.5 Análisis de resultados

Aplicando el método de nivel 1 de las Directrices del IPCC de 2006, en el año 2019 las emisiones de óxido nitroso generados fueron 1.37Gg de N₂O que equivalen a 364.02 Gg CO₂eq tal como se muestran en la siguiente figura.

Figura N° 9. Emisiones de óxido nitroso, 2019

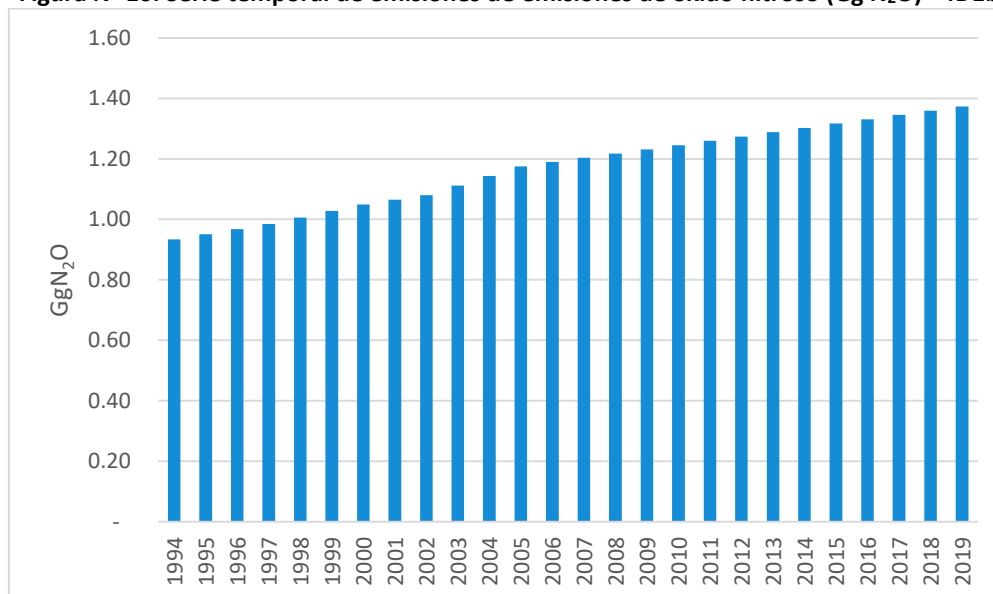


Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

5.2.6 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° 10. Serie temporal de emisiones de emisiones de óxido nitroso (Gg N₂O)– 4D1b



Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

En la figura anterior, se aprecia una tendencia creciente en toda la serie temporal, soportada en el incremento de la población nacional. En el caso del N₂O, la serie temporal es similar a la presentada en el RAGEI 2016 dado que se sustenta en las mismas fuentes de información y supuestos.

5.3 Control de Calidad

5.3.1 Control de calidad

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

El procedimiento de CC está diseñado para hacer controles rutinarios y coherentes que garanticen la integridad de los datos, su corrección y su exhaustividad, detectar y subsanar errores y omisiones, y 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 listados en el Anexo 3. El procedimiento de control de calidad fue realizado por la responsable del RAGEI y equipo de la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación del Minam, y contempla los siguientes resultados:

Tabla N° 23. Hallazgos producto del proceso de control de calidad

Hallazgos	Acciones implementadas
Links de acceso a información poblacional no funcionan.	Se actualizan los links de acceso.
La aplicación de la fórmula de estimación de emisiones de metano no es correcta cuando contempla valores de recuperación de biogás.	Se ajusta aplicación de la ecuación 6.4 de la Directrices del IPCC de 2006, incluyendo ajustes en las unidades etiquetadas en los cuadros de la hoja de cálculo "GEI 4D1a".
Vinculación de valores para el caso de tipos de tratamiento diferenciados por su condición de estar con sobrecarga o no	Se precisa la vinculación en la planilla de cálculo y se elabora documento de soporte.
Modificar el potencial de calentamiento global para aplicar los valores del Quinto Reporte de Evaluación del IPCC	Se ajustan valores, así como la fuente de información, en la planilla de cálculo.
Actualizar los vínculos del cuadro 8 de la hoja de cálculo "IB 4D1a - Tipos de tratamiento" con los datos de sistemas de alcantarillado con PTAR.	Se ajusta vínculos del cuadro 8 de la hoja de cálculo "IB 4D1a - Tipos de tratamiento" para que se apliquen los años correctos.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

5.4 Plan de mejora

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

Tabla N° 24. Acciones de mejora para futuros RAGEI

N°	Descripción de la acción de mejora	Impacto*	Nivel de avance en la implementación	Periodo de implementación
1	Consolidar la participación de las áreas y profesionales relacionados con la provisión de la información para la elaboración del RAGEI, incluyendo su participación capacitaciones, con el objetivo de que conozcan la importancia de recopilar la información base para la estimación y apoyar en los procesos de mejora continua y de juicio de expertos, de corresponder.	Mejorar la exactitud de los cálculos	Se requiere continuar reforzando la participación de los actores sectoriales, tomando en consideración el nuevo alcance que supone la utilización de las Directrices del IPCC de 2006 y la próxima aplicación del Perfeccionamiento de 2019.	Mediano plazo
2	Profundizar la información sobre la fracción de las aguas residuales domésticas por vías de tratamiento o eliminación (rural, urbano, pequeñas ciudades).	Mejorar la exactitud de los cálculos de emisiones de metano	Se ha utilizado información oficial del INEI sobre formas de eliminación sanitaria de excretas, se ha realizado un análisis de calidad de la información del DATASS parte de la parte de la OGEI del MVCS y se cuenta con información actualizada por parte de la SUNASS. Sin embargo, aún es necesario seguir analizando las vías de tratamiento o eliminación en el ámbito rural, así como en el ámbito urbano que no es atendido por una EPS regulada por Sunass.	Mediano plazo
3	Estimar factores de emisión específicos para los tratamientos nacionales.	Mejorar la exactitud de los cálculos.	Se debe establecer una hoja de ruta para obtener factores de emisión específicos, así como el financiamiento asociado.	Mediano plazo

4	Uso de información del ECAM como insumo del INFOCARBONO ²⁵ .	Mejora la exactitud y comparabilidad.	La herramienta ECAM se encuentra disponible. Dado que aplica las orientaciones del Perfeccionamiento de 2019, es necesario que el RAGEI se actualice con estas directrices.	Mediano plazo
5	Determinar la cantidad de lodos producido por cada sistema de tratamiento de aguas residuales, el tratamiento aplicado y la cantidad de metano recuperado o generado. En caso no se determine un tratamiento de este, indicar a los actores de la categoría 4A Eliminación de Desechos Sólidos su consideración dentro de las emisiones por la disposición final del mismo.	Mejorar la exactitud y exhaustividad de los cálculos.	Se registra data de recuperación de metano en el RAGEI 2019. Por otro lado, existe en registro Nacional de Producción y Reaprovechamiento de Biosólidos; sin embargo, es necesario realizar evaluar información de alcance nacional sobre la gestión de lodos en cada sistema. Estas acciones adicionales, serán implementadas progresivamente.	Largo plazo
6	Estimar el componente orgánico degradable (DBO) aplicable para el ámbito rural y urbano.	Mejorar la exactitud del RAGEI.	Se contempla la implementación de los protocolos de juicio de experto aprobados por el IPCC.	Mediano plazo
7	Identificar los valores utilizados en otros países de la región y estrategias utilizadas para estimar valores nacionales de la capacidad máxima de producción de metano - B ₀ (kg de CH ₄ /kg de DBO).	Mejora la exactitud.	Se debe establecer una hoja de ruta en base a la información regional disponible.	Largo plazo.
8	Evaluar pertinencia y factibilidad de estimación de las emisiones de gases precursores (COVDM, NO _x , SO ₂) utilizando las guías EMEP/EEA 2019, disponibles en https://www.eea.europa.e	Mejora la exhaustividad.	En el informe de RAGEI se realiza una estimación con los volúmenes de agua residual tratada por parte de las EPS, sin embargo es necesario estimar el volumen de agua residual a nivel	Largo plazo.

²⁵ El ECAM (Evaluación y Monitoreo del Desempeño Energético y las Emisiones de Carbono), es una herramienta para la estimación de emisiones a nivel de EPS, aplicable en el marco del proceso de la formulación de planes de mitigación y adaptación al cambio climático (PMACC) solicitados por el T.U.O. del Decreto Legislativo N° 1280 y de su Reglamento. La herramienta ECAM, es una herramienta de libre acceso (<https://climatesmartwater.org/ecam/>) desarrollada por el Ministerio Federal de Medio Ambiente de Alemania (BMUB) en el marco del proyecto WaCCliM (Empresas de Servicios de Agua y Saneamiento para la Mitigación del Cambio Climático) y permite analizar el uso de energía y las emisiones totales de GEI en la prestación del servicio e identificar áreas para reducir las emisiones considerando todos los componentes del ciclo urbano del agua.

	u/publications/emep-eea-guidebook-2019		nacional que recibe tratamiento susceptible a aplicar el factor de emisión sugerido por la "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019".	
9	Solicitar una base de datos homologada de la población nacional por ámbito (urbano y rural) al MINEM y/o INEI	Mejora la exactitud y comparabilidad.	Existe información parcial para la serie temporal, sujeta a la aplicación de técnicas de empalme, sin embargo, dado que es información utilizada también por otros RAGEI, es recomendable que la totalidad de la serie temporal sea provista por el ente nacional especializado en estadística.	Corto/mediano plazo

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS)

*Impacto en la estimación de tCO₂eq de la serie temporal u otros atributos del RAGEI

6 BIBLIOGRAFÍA

- INEI. Series Nacionales. Disponible en <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>
- INEI. Información censos 1993, 2005 y 2007. Base de datos Redatam. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/>
- INEI (2020). Boletín “Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico”. Cuadro N° 35. Disponible en http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_saneamiento2019.pdf
- SUNASS (2022). Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas. Disponible en el archivo "SUNASS Información PTAR.xls". ²⁶.
- MVCS (2020). Oficina de Estadística e Informática del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Porcentaje de viviendas por tipo de eliminación sanitaria de excretas en el ámbito rural 2018 - 2020, Disponible en el archivo " MVCS (2020). Sistemas Eliminación Excretas - VIVIENDA 2018 – 2020.xls "²⁷
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, Recuadro 3.2, Tabla 1, Tiempo de horizonte de 100 años). Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- FAO (2011). Perfil de País: Indicadores de Seguridad Alimentaria. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/food_security_statistics/country_profiles/esp/Peru_S.pdf
- MINAM (2014). Decreto Supremo N° 013-2014-MINAM. Disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO).
- MVCS (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo Nro. 011-2006-Vivienda. Norma OS.090, Plantas de tratamiento de Aguas Residuales, cap. 4.3, Art. 4.3.6.
- IPCC (2006) Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 5. Capítulo 6. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>

²⁶ Incluye información previamente solicitada en el marco del RAGEI 2016, así como información de libre acceso e información remitida en el 2022 sobre los tipos de tratamiento de las PTAR al 2021.

²⁷ Solicitado en el marco de la formulación del RAGEI 2016. Durante el 2022 la OGEI realizó un informe de evaluación de la información disponible para el ámbito rural (Datass e INEI).

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1: Datos de los responsables del RAGEI

Datos	Descripción
Nombres y Apellidos	Nelsi Isabel Málaga Cueva
Cargo	Especialista en Cambio Climático
Correo Electrónico	nmalagac@vivienda.gob.pe
Teléfono - Anexo	2117930
Dirección de Línea	Dirección General de Asuntos Ambientales
Institución	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS).

7.2 Anexo 2: Juicio de experto

Para el RAGEI 2019 no se ha desarrollado un proceso de juicio de experto particular. Se toma en consideración el proceso de juicio de experto realizado para el RAGEI 2016, cuando se realizó un proceso de clasificación de los tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas urbanas con los de las Directrices del IPCC de 2006, con base a las recomendaciones de Juan Martín Ortega, experto IPCC revisor de inventarios nacionales del sector Desechos, ilm@gauss-int.com (la clasificación se realizó resultado de la experiencia de otros países). Sin embargo, la responsable del RAGEI ha realizado ajustes con base a aportes resultantes de una consultoría realizada por un experto del sector saneamiento y teniendo en cuenta que el RAGEI 2019 utiliza nuevas fuentes de información sobre formas de eliminación de excretas a nivel nacional para el ámbito urbano y rural²⁸.

²⁸ (León, 2021). "Asistencia técnica sobre medidas de mitigación y análisis de escenarios a largo plazo de los NDC del Sector Vivienda, Construcción y Saneamiento para una Estrategia de Desarrollo Bajo en Carbono en el Perú al año 2050"

7.3 Anexo 3: Procedimiento de control de calidad

Tabla N° 25. 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.	Confirmar que las referencias de datos bibliográficos estén debidamente citadas en la documentación interna. 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.
Verificar que las emisiones/remociones se estimen correctamente.	Reproducir una muestra representativa de los cálculos de las emisiones/remociones. Utilizar un método de aproximación simple que arroje resultados similares al del cálculo original y más complejo, para garantizar que no haya errores de entrada de los datos ni errores de cálculo.
Verificar que las unidades de emisiones/remociones y parámetros se registren correctamente y que los factores de conversión se utilicen de manera apropiada.	Verificar que las unidades estén correctamente etiquetadas en las planillas de cálculo. Verificar que las unidades se mantengan correctamente desde el principio hasta el final de los cálculos. Verificar que los factores de conversión sean correctos. Verificar que los factores de ajuste temporal y espacial se utilicen correctamente.
Verificar la integridad de los archivos de base de datos.	Confirmar que los pasos de procesamiento de datos apropiados estén correctamente representados en la base de datos. Confirmar que las relaciones de datos estén correctamente representadas en la base de datos. Asegurar que los campos de datos estén correctamente etiquetados y cuenten con las correctas especificaciones de diseño. Asegurar que la documentación adecuada de la operación, la estructura del modelo y la base de datos sean archivadas.
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 de datos de inventario entre los pasos de procesamiento sea correcto.	Verificar que los datos de emisiones/remociones se agreguen 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.

Actividad de CC	Procedimientos
Corroborar que se estimen y calculen correctamente las incertidumbres de las emisiones y absorciones.	Controlar que los antecedentes de quienes proporcionan el dictamen de expertos para las estimaciones de incertidumbres sean adecuados. Comprobar que se registren los antecedentes, las hipótesis y los dictámenes de expertos. Comprobar que las incertidumbres calculadas estén completas y hayan sido calculadas correctamente.
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 estimado').
Revisión 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.
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.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS) en base al Capítulo 6 de las Directrices del IPCC de 2006

Tabla N° 26. Procedimientos de específicos de control de calidad para la subcategoría 4D1 – Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales Domésticas

Actividad de CC	Procedimientos
Evaluar la pertinencia de los factores por defecto del IPCC.	Evaluar si las condiciones nacionales son similares a las utilizadas para desarrollar los factores por defecto del IPCC. Comparar los factores por defecto con los factores a nivel de planta o de sitio. Considerar las opciones para obtener factores específicos del país.

Actividad de CC	Procedimientos
Revisar los factores específicos del país.	Controlar la calidad de los datos utilizados para desarrollar el factor específico del país. Evaluar si los estudios secundarios utilizados para desarrollar los factores específicos del país utilizaron (como mínimo) las actividades de CC de Nivel 1. Comparar los factores específicos del país con los valores por defecto del IPCC; documentar alguna discrepancia significativa. Comparar los factores específicos del país con los factores a nivel de planta o de sitio. Comparar los factores de los otros países (utilizando la Base de datos de factores de emisión del IPCC). Documentar los resultados de esta evaluación.
Revisar las mediciones.	Determinar si los estándares nacionales o internacionales (p. ej., ISO) fueron utilizados en las mediciones. Asegurar que el equipo de medición esté calibrado y se mantenga apropiadamente, con el fin de que este posicionado de forma tal que arroje un resultado representativo. Comparar las mediciones directas con las estimaciones utilizando factores nacionales o por defecto; documentar alguna discrepancia significativa.
Revisar los datos de actividad a nivel nacional.	Determinar el nivel de CC asociado con los datos de actividad secundarios obtenido por la agencia de recolección de datos y ajustar la incertidumbre relevante, de corresponder. Analizar si los datos alternativos y los conjuntos de datos internacionales pueden aportar una mejor estimación de las emisiones o absorción. Si no fuera apropiado, considerar las fuentes de datos alternativas, tales como los conjuntos de datos internacionales o factores por defecto del IPCC. documentar las inadecuaciones asociadas con el CC de los datos secundarios Evaluar la coherencia de la serie temporal.
Revisar los datos de actividad específicos de sitio.	Determinar si los estándares nacionales o internacionales (p. ej., ISO) fueron utilizados en las estimaciones. Comparar los datos específicos de sitio en conjunto con (p. ej., producción) los datos/estadísticas nacionales. Comparar con los datos de sitios similares. Comparar estimaciones realizadas con enfoques “top-down” y “bottom-up” para verificar que sean de similares órdenes de magnitudes
Documentación de los cálculos	Al utilizar hojas de cálculo: Referir con claridad los números escritos en la hoja de cálculo a la fuente de datos (véanse en la sección anterior los criterios de documentación para las fuentes de datos). Proporcionar cálculos subsiguientes, con formato de fórmulas, de modo que puedan usarse las herramientas de auditoría para hacer el camino inverso desde el resultado a los datos de origen, y puedan evaluarse los cálculos analizando las fórmulas. Marcar claramente las celdas de la hoja de cálculo que contienen los datos derivados como «resultados» y comentarlos respecto de cómo y dónde se los utiliza. Documentar la hoja de cálculo especificando nombre, versión, autores, actualizaciones, uso pensado y procedimientos de verificación para que pueda utilizarse como fuente de datos de los resultados derivados y como referencia futura del proceso del inventario.

Actividad de CC	Procedimientos
Estimaciones de incertidumbre de CC.	Aplicar las técnicas de CC para las estimaciones de incertidumbre. Revisar los cálculos de incertidumbre. Documentar las hipótesis de incertidumbre, así como la idoneidad de las/los expertos consultados y el proceso de consulta.
Verificar las estimaciones de GEI.	Comparar las estimaciones con otras estimaciones nacionales o internacionales a nivel de sector, subsector, o nacional, en caso se encuentren disponibles.

Fuente: Elaboración propia (DGAA - MVCS) en base al Capítulo 6 de las Directrices del IPCC de 2006