

6

CAPÍTULO SEIS

MÓDULO DE RESIDUOS

Autores

ADRIANA PEDRAZA GALEANO

GABRIEL DE JESÚS SILDARRIAGA OROZCO



Mesa Técnica de Trabajo Interinstitucional

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT),
Carlos Ramírez, José Severo González, Sandra Alicia Reina y Zayda Janeth Sandoval Núñez.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP),
Diego Polanía.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
Adriana Pedraza Galeano, Gabriel de Jesús Saldarriaga Orozco y Luz Dary Yepes Rubiano.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD),
Gilma Lucía Arias, Liliana Malagón, Magda Correal y Sandra Constanza González.
- Universidad Industrial de Santander – Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (Ceiam),
Ligia Patricia Arenas.
- Universidad Nacional de Colombia- Programa de Investigación sobre Residuos Sólidos (PIRS),
Oscar Suárez Medina.

Colaboradores

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), **Margarita Cardona.**
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), **Alberto Escolar.**
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), **Estella Hernández.**
- Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique), **Benjamín Di Filippo.**
- Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor), **Carlos Sierra.**
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), **Angélica Segura.**
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), **Alexandra Londoño Vásquez y Jefferson Martínez.**
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), **William Gómez Ospina y Silvia Gualdrón.**
- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Barranquilla (DAMAB), **Jhonny Escobar.**
- Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA Cartagena), **José Morales y Álvaro Monterrosa García.**
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA), **Aurita Bello.**
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), **Ciro Serrano Camacho.**
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), **Ángela Gómez.**

Coordinador del Capítulo

Gabriel de Jesús Saldarriaga Orozco

Supervisión

Luz Dary Yepes Rubiano

Foto 6.1 Portada del Capítulo. Área de disposición final de residuos del Relleno Sanitario Doña Juana. Mauricio Cabrera L., 2009.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	295
6.1 GENERALIDADES DEL SECTOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS	296
6.2 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS	300
6.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI	301
6.4 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI	302
6.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI	304
6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	304
6.6.1 Análisis de resultados por categoría de fuente	304
6.6.2 Análisis comparativo de las emisiones de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004	305
6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	307
BIBLIOGRAFÍA	309
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla 6.1 Generación de residuos sólidos ordinarios.	296
Tabla 6.2 Inversión pública en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico 1998-20022	298
Tabla 6.3 Instituciones participantes en la mesa técnica del Módulo de residuos	300
Tabla 6.4 Matriz de variables requeridas y entidades responsables de la información.	301
Tabla 6.5 Resultado de las emisiones de GEI para el Módulo de residuos año 2000	304
Tabla 6.6 Resultado de las emisiones de GEI para el Módulo de residuos año 2004	304
Tabla 6.7 Emisiones de CH ₄ por fuente de emisión, años 1990, 1994, 2000 y 2004	305
Tabla 6.8 Emisiones de N ₂ O por fuente de emisión, años 1990, 1994, 2000 y 2004	306
Tabla 6.9 Emisiones por fuente de emisión en unidades de CO ₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004	306
Tabla 6.10 Emisiones por gas en unidades de CO ₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004	307



	Página
CONTENIDO DE FIGURAS	
Figura 6.1 Metodología y etapas del cálculo para las emisiones de GEI del Módulo de residuos	303
Figura 6.2 Estructura de cálculo de las emisiones de GEI del Módulo de residuos para los años 2000 y 2004	303
Figura 6.3 Emisiones de CH ₄ por categoría de fuente para los años 2000 y 2004	305
Figura 6.4 Emisiones de N ₂ O por manejo de aguas servidas humanas para los años 2000 y 2004	305
Figura 6.5 Tendencia de las emisiones de CH ₄ para los años 1990, 1994, 2000 y 2004	306
Figura 6.6 Comportamiento de las emisiones de N ₂ O para los años 1990, 1994, 2000 y 2004	306
Figura 6.7 Comportamiento de las emisiones por fuente de emisión en unidades de CO ₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004	307
Figura 6.8 Emisiones por gas en unidades de CO ₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004	307
CONTENIDO DE CUADROS	
Cuadro 6.1 El papel de los microorganismos en el manejo de residuos	297
Cuadro 6.2 Rellenos sanitarios	297
Cuadro 6.3 Posibilidades de financiamiento para el saneamiento básico	298
CONTENIDO DE FOTOS	
Foto 6.1 Área de disposición final de residuos del Relleno Sanitario Doña Juana. Mauricio Cabrera L. 2009.	291
Foto 6.2 Celda del Relleno Sanitario Doña Juana, Mauricio Cabrera L. Bogotá, 2009.	296
Foto 6.3 Relleno Sanitario Doña Juana, Mauricio Cabrera L. Bogotá, 2009	297
Foto 6.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frío, Adriana Pedraza G. Bucaramanga, 2007.	298
Foto 6.5 Sitio de disposición de lodos PTAR Río Frío. Adriana Pedraza G. Bucaramanga, 2007.	298

INTRODUCCIÓN

En el Módulo de residuos se encuentra una descripción general del sector, que incluye los indicadores más relevantes del mismo, una descripción de la metodología y las variables utilizadas en el cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y un análisis de los resultados obtenidos. Dentro del módulo se cuantifican las emisiones de GEI generadas por actividades antrópicas relacionadas con la disposición de residuos sólidos, el tratamiento de aguas residuales y la disposición de excretas humanas.

De acuerdo con la metodología establecida por el IPCC para la elaboración del inventario, el módulo de residuos se divide en las siguientes categorías:

- **Emisiones de metano (CH_4) procedentes de la disposición de residuos sólidos en tierra:** Se consideran emisiones generadas por la disposición de residuos sólidos en tierra. Esta categoría divide los sitios de disposición en controlados y no controlados, con el fin de aplicar un factor de corrección para el metano que permita determinar el potencial de generación de metano del sitio de disposición de los residuos.
- **Emisiones de metano (CH_4) procedentes del tratamiento de aguas residuales:** Se consideran las emisiones generadas en el tratamiento de aguas residuales. Esta categoría se divide en aguas residuales domésticas, aguas residuales comerciales y aguas residuales industriales. El factor que determina el potencial de generación de metano en las aguas residuales es la cantidad de materia orgánica existente en las mismas.
- **Emisiones de óxido nitroso (N_2O) procedentes de las excretas humanas:** Se estiman las emisiones indirectas de óxido nitroso procedentes de las excretas humanas.
- **Emisiones por incineración de residuos sin recuperación de energía:** Se estiman las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

Para esta última categoría, las emisiones de CH_4 no son relevantes debido a las condiciones de combustión en los incineradores, es decir, las altas temperaturas y el tiempo prolongado de permanencia. Generalmente, las emisiones de CO_2 procedentes de la incineración de residuos son significativamente mayores que las emisiones de N_2O .

La metodología que se describe en las guías de las buenas prácticas aplica la incineración con y sin recuperación de energía. Las emisiones procedentes de la incineración de residuos sin recuperación de energía deben declararse en el Módulo residuos, mientras que las emisiones procedentes de la incineración sin recuperación de energía deben declararse en el Módulo de energía.



Es importante tener en cuenta que no se obtuvieron datos de emisión por incineración de residuos sin recuperación de energía para los años 2000 y 2004 debido a que antes del año 2002 no se contaba con datos relacionados con la actividad; las Resoluciones 0058¹ y 0886² comenzaron a regir en el 2002 y 2004 respectivamente, en las cuales se establece que los incineradores y las plantas de incineración deberán reportar el tipo de residuos y su cantidad incinerada cada seis meses.

6.1 GENERALIDADES DEL SECTOR DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Los residuos sólidos y líquidos generados a partir de las diferentes actividades que realiza el hombre para alcanzar su bienestar, representan un potencial de contaminación que deteriora y afecta el medio ambiente, con consecuencias para la sociedad en general, razón por la cual su gestión debe ser considerada como una acción prioritaria.

El conocimiento de las cantidades de residuos generados, aprovechados, tratados y dispuestos, permite su manejo integral. Con este tipo de manejo se facilita la determinación de prioridades de gestión, ubicación espacial de los generadores, identificación de oportunidades de inversión en infraestructura y aprovechamiento, evaluación del potencial del impacto social y ambiental, además de evaluar los pasivos ambientales generados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos y líquidos.



Foto 6.2. Celda del Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá, 2009.
Tomada por Mauricio Cabrera L.

También permite establecer patrones de consumo de bienes, servicios y materiales, incluyendo sus relaciones con el nivel de ingreso y crecimiento de la población urbana. La Tabla 6.1 presenta la generación total y per cápita de residuos sólidos ordinarios en las cabeceras municipales de Colombia.

Tabla 6.1. Generación de residuos sólidos ordinarios

Año	Generación de residuos sólidos ³	
	t/año	kg · hab ⁻¹ · día ⁻¹
1998	7 263 420	0,69
1999	7 884 203	0,73
2000 ⁴	7 921 034	0,72
2001	8 015 854	0,71
2004 ⁵	8 558 981	0,72

Fuente: IDEAM, 2007. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. Bogotá, 2004 y SSPD.

La cobertura en el país del servicio de recolección y transporte de residuos sólidos para el año 2001 alcanzó 98% en los grandes centros urbanos, 91% en los medianos y 95% en los municipios pequeños, para un promedio nacional de 94,6%. Para el año 2003, la cobertura en transporte y recolección a nivel nacional alcanzó 95% (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD-, 2006).

1 Resolución 0058 de 2002. Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.

2 Resolución 0886 de 2004. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 0058 del 21 de enero de 2002 y se dictan otras disposiciones.

3 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Informe anual sobre el estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. Bogotá: IDEAM, 2004. Pág. 86.

4 Información suministrada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá: SSPD. 2007.

5 Ibid., p. 5.

Cuadro 6.1 El papel de los microorganismos en el manejo de residuos

Durante la descomposición anaeróbica de los materiales orgánicos se producen grandes cantidades de metano, pero esta fuente de energía normalmente se vuelve a oxidar, como sucede en la mayoría de ambientes acuáticos, o se pierde a la atmósfera, como ocurre en gran parte de ambientes terrestres.

Las bacterias metanógenas utilizan los productos de la fermentación para la producción de metano. Esta producción de metano la lleva a cabo una mezcla de comunidades microbianas equilibradas normalmente, donde sus poblaciones mantienen una relación sinérgica o mutualista. Algunas poblaciones intervienen en la escisión o rompimiento de materiales orgánicos, como polímeros complejos, ácidos grasos sencillos, hidrógeno, dióxido de carbono y alcoholes.

Adaptado de: Atlas, R. M. y Bartha, R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2002. p. 607 y 608.

En el año 2006, la SSPD realizó un estudio del cual se dedujo la situación de la disposición final de los residuos en el país antes y después de la implementación de la Resolución 1390 de 2005⁶. En dicho documento se estableció que en los 1.085 municipios de Colombia se generan cerca de 21.000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos. Antes de la expedición de la Resolución 1390 de 2005, 373 municipios disponían sus residuos en 604 sitios inadecuados⁷, 348 municipios realizaban la disposición final en 143 rellenos sanitarios y existían 32 plantas de aprovechamiento.



Foto 6.3. Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá, 2009.
Tomada por Mauricio Cabrera L.

Con la aplicación de la resolución y la gestión de las entidades involucradas se logró clausurar 145 botaderos a cielo abierto e incrementar los rellenos sanitarios a 195 y las plantas integrales a 34.

Cuadro 6.2 Rellenos sanitarios

Si bien los rellenos sanitarios están definidos en diferentes normas, por ejemplo: RAS 2000 (Res. 1096, de 2000 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT-), los decretos nacionales 838 de 2005 y 1220 de 2005 y la Ley 142 de 1994; la definición de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers, ASCE) ilustra las principales características de un relleno sanitario: "Un relleno sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, utilizando principios de ingeniería, para confinar las basura en la menor área posible, reduciendo su volumen hasta la mínima cantidad posible, para luego cubrir las basuras así depositadas diariamente con una capa de tierra al final de la jornada o tan frecuentemente como sea necesario."

Adaptado de normas consultadas y: Collazos, H. Diseño y operación de rellenos sanitarios. Bogotá: Bustos, C., Acodal, Collazos, H., 2001. p. 53.

Como resultado del proceso de reordenamiento y modernización del sector, en el año 2003, las cabeceras municipales alcanzaron coberturas del servicio de alcantarillado en cerca de 90%; el mayor cubrimiento lo tiene Bogotá con 98,09%, le siguen los departamentos de Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, con coberturas superiores a 90%. Los departamentos que presentan coberturas menores a 20%, son: Vichada, Chocó, Guainía, San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

En el año 2006, existían en el país 410 plantas de tratamiento de aguas residuales registradas y 44 plantas de tratamiento en construcción, es decir, 65 plantas más que en el año 2000. Sin embargo, para el año

2006 y aún con las plantas de tratamiento disponibles, en promedio sólo 25% de las aguas vertidas eran tratadas, lo cual refleja el rezago del país en cuanto a tratamiento de aguas residuales.

6 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Número 1390 del 27/09/2005. Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica de rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003, que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma.

7 El término inadecuado se refiere a: botaderos a cielo abierto, enterramientos, quemas y cuerpos de agua.



Foto 6.4. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Río Frio. Bucaramanga, 2007. Tomada por Adriana Pedraza G.

Durante el periodo 2002 al 2006, si bien la economía nacional se caracterizó por el repunte de los principales indicadores económicos con un crecimiento importante del Producto Interno Bruto (PIB), en términos generales, los servicios de agua potable y saneamiento básico han perdido participación en el PIB; en el año 2006⁸ se registró 0,49%, frente a 0,71% alcanzado en 1994. Este comportamiento se relaciona con la reducción en la producción y distribución de agua, producto de la caída en los consumos per cápita⁹, asociados con la elasticidad en el precio de la demanda¹⁰. Por su parte, el desempeño del PIB del sector aseo domiciliario muestra una participación decreciente pasando de 0,73% en 1990 a 0,64% en el 2001¹¹.

Cuadro 6.3 Posibilidades de financiamiento para el saneamiento básico

Un estudio sectorial del servicio de alcantarillado para el periodo 2002 a 2005*, sobre los principales ingresos del saneamiento básico (aseo, acueducto y alcantarillado), estableció dentro de las posibilidades de financiación del sector de saneamiento básico, como fuente primaria de recursos, los ingresos por facturación, los aportes de diferente naturaleza que hacen los entes territoriales y la Nación para la financiación de inversiones en infraestructura y para el cubrimiento de los subsidios, además del crédito con la banca comercial, la Financiera de Desarrollo Territorial S.A. (Findeter), la banca multilateral y la cooperación técnica internacional.

*Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2006.

En la Tabla 6.2 se presentan las inversiones realizadas por el sector público en el sector de agua potable y saneamiento básico entre los años 1998 y 2002, equivalentes aproximadamente a 2 puntos del PIB de 2001, discriminadas por la fuente de recursos. La mayor parte de estos recursos (85%) proviene de transferencias de la nación a los municipios.

Tabla 6.2. Inversión pública en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico 1998-2002

Fuente de recursos		Millones de pesos de 2001
Transferencia a los municipios		3.003.637
Fondo nacional de regalías –FNR–		141.259
Ministerio de Desarrollo Económico		212.037
Plan Colombia	Empleo en acción	36.289
	Obras para la paz	13.616
	Plan Pacífico	8.316
	Recursos de inversión social –RIS–	77.977
Total		3.493.131

Fuente: Documento Conpes 3177¹²



Foto 6.5. Sitio de disposición de lodos PTAR Río Frio. Bucaramanga, 2007. Tomada por Adriana Pedraza G.

8 Departamento Nacional de Planeación. Documento Conpes: número 3441. Balance Macroeconómico, presupuesto y plan financiero para el 2006, Bogotá: DNP, agosto de 2006, p. 9.

9 Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. En: Supercifras No. 6/2002. Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Bogotá 1998-2001.

10 La elasticidad-precio de la demanda es un coeficiente que mide la reacción en la cantidad de demanda cuando un precio varía. Está es una medida sin unidades de la sensibilidad de la cantidad de demanda de un bien ante un cambio en su precio, cuando todas las otras variables que influyen sobre los planes de los compradores permanecen constantes. Una elasticidad alta indica un elevado grado de respuesta de la cantidad demandada a la variación de precio, y una elasticidad baja indica una escasa sensibilidad a las variaciones del precio.

11 Universidad de los Andes. Bogotá, 2005.

12 DNP. Documento Conpes No. 3177. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales. Bogotá: DNP, 2002. p. 27.

Los instrumentos económicos del sector¹³ consideran aspectos para controlar y/o prevenir la degradación de los recursos naturales. Entre ellos, se encuentran los cargos por emisión o tasas retributivas, las tarifas de alcantarillado, los cargos administrativos y los estímulos tributarios que aplican para el caso de la degradación de los recursos hídricos por efecto de vertimientos de aguas servidas.

Las tasas retributivas reglamentadas por el Decreto 3100 de 2003¹⁴ se aplican a todos los usuarios residenciales o industriales cuyos vertimientos se encuentren dentro de los límites permisibles que fija la ley. Los parámetros considerados para la aplicación de tasas son los sólidos suspendidos totales (SST), y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Para usuarios conectados con la red de alcantarillado, la responsabilidad de las tasas las asume la Empresa de Servicios Públicos (ESP), mientras que en los casos restantes, la responsabilidad es de los usuarios individuales.

El sistema de alcantarillado, por definición, incluye tanto el transporte como el tratamiento de las aguas residuales; así, la inclusión de costos ambientales en la tarifa de alcantarillado es un instrumento de comando y control para que el sector industrial disminuya el volumen de sus descargas.

Las sanciones previstas en la Ley 99 de 1993 bajo el procedimiento establecido en el artículo 85 del Decreto 1594 de 1984, para las industrias que no cumplen con las normas de vertimientos, pueden ser: amonestación verbal, amonestación escrita, cierre preventivo de las actividades contaminantes, decomiso de productos y multas. Las sanciones deben ser progresivas y dependientes del grado de contaminación causado, y son aplicables a todos los usuarios ambientales, incluyendo industrias y empresas de servicio público.

De los estímulos económicos que se brindan al sector industrial para incentivar su inversión en producción limpia, los más importantes son:

- Reducción al impuesto predial para las industrias catalogadas como de bajo impacto ambiental, bien sea por sus características o porque han implantado medidas adecuadas para el control de la contaminación.
- Exenciones tributarias (IVA y otros) para adquisición e importación de equipos de control de contaminación y producción limpia (Ley 233 de 1995).
- Ventanillas de asistencia técnica para pequeñas y medianas empresas (Pymes), en las cuales se brinda asistencia gratuita o subvencionada en temas ambientales.
- Exención de pago de caracterización de vertimientos cuando el industrial cumple con las normas.
- Sellos verdes y programas de excelencia ambiental distrital (Pread), para otorgar certificaciones y estímulos a empresarios que lideren procesos de mejoramiento ambiental.
- La combinación adecuada de sanciones y estímulos según las características de cada región, además de la realización de programas de información a los industriales sobre las normas, los objetivos de calidad locales y los procedimientos son elementos que mejoran la efectividad de los programas de control de vertimientos.

El gobierno colombiano ha estado presto a definir y ajustar los instrumentos de comando y control para facilitar la implementación de acciones a diferentes plazos por los diferentes actores, de tal forma que los resultados se traduzcan en unas condiciones ambientales más acordes y sostenibles para las comunidades.

13 MAVDT. Guía ambiental para la formulación de planes de pre tratamiento de efluentes industriales. Bogotá: el autor, 2002.

14 Modificado por el Decreto 3440 de 2004 en sus artículos 3,4,6,8,18,21,26,28,30, 31 y 33, publicada en el Diario Oficial 45.713 de 26 de octubre de 2004. Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.



6.2 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS

El Módulo de residuos del inventario nacional de Gases Efecto Invernadero (GEI), estima las emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) generadas por las actividades de disposición y tratamiento de residuos sólidos y el manejo de las aguas residuales de los centros urbanos del país. El metano que se contabiliza en este Módulo es el originado por una parte, a través de la descomposición anaeróbica¹⁵ de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos (disposición en tierra de residuos sólidos urbanos), y en las aguas residuales domésticas e industriales (sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales); y por la otra, a partir de las emisiones de óxido nitroso originadas en los procesos de nitrificación y desnitrificación del nitrógeno (urea, nitratos y proteínas), proveniente del manejo de las aguas servidas humanas.

En los resultados obtenidos se destaca el avance significativo en la aplicación de las metodologías empleadas en relación con el primer inventario de GEI para los años 1990 y 1994, los que reflejan estimaciones más acordes con el contexto colombiano. Estos resultados se obtienen mediante un proceso de consulta de información y apoyo técnico logrado a través de la participación de las diferentes entidades involucradas en el tema, las cuales conforman la mesa técnica¹⁶ del Módulo, la cual se presenta en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Instituciones participantes en la mesa técnica del Módulo

Entidad participante	Aporte en la mesa técnica
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)	Información sobre residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales.
Departamento Nacional de Estadística (DANE)	Datos de población.
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)	Información sobre residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir del Sistema Único de Información (SUI)
Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's)	Información sobre residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.
Universidad Nacional de Colombia - Programa de Investigación sobre Residuos Sólidos (PIRS)	Secretaría técnica de la mesa técnica. Apoyo técnico y científico.
Universidad Industrial de Santander, Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM)	Apoyo técnico y científico.
Departamento Nacional de Planeación (DNP)	Apoyo en la coordinación institucional con otras entidades del sector.
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)	Información sobre el consumo promedio <i>per cápita</i> de proteína.

Fuente: La autora, 2008

La metodología utilizada en el desarrollo del módulo consideró las siguientes etapas: 1) recopilación de información básica; 2) revisión de la información; 3) procesamiento de los datos, y 4) reporte de los resultados consolidados de las emisiones de metano y óxido nitroso, a partir de las estadísticas referentes al sector y estimaciones con factores propuestos por el IPCC, por sus siglas en inglés¹⁷.

¹⁵ Transformación de la materia orgánica en compuestos más simples mediante la acción microbiana en ausencia de oxígeno.

¹⁶ Las mesas técnicas de trabajo están integradas por las instituciones que por su mandato institucional tienen relación con cada uno de los componentes de la Comunicación Nacional de Colombia y tienen como objetivo principal ser las instancias técnicas de concertación para su elaboración. La mesa técnica del Módulo de residuos fue coordinada por el IDEAM y el Programa de Investigación sobre Residuos Sólidos (PIRS) de la Universidad Nacional de Colombia, que realizó la secretaría técnica de la mesa.

¹⁷ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

6.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI

Las categorías de fuente consideradas para la estimación de GEI en el Módulo de residuos corresponden a:

1. Residuos sólidos dispuestos en tierra.
2. Aguas residuales:
 - a. Tratamiento de aguas residuales y lodos domésticos.
 - b. Tratamiento de efluentes y lodos industriales.
 - c. Manejo de aguas servidas humanas.
3. Residuos con fines energéticos.

Mediante una descripción y revisión de las variables por categoría de fuente, y de acuerdo con el método de cálculo a utilizar y los factores de emisión, se establecieron las necesidades de información por variable, las cuales se asociaron con las entidades que la generan.

Con dicha descripción se desarrolló la estrategia de obtención de información con las entidades que conformaron la mesa técnica de trabajo, incluyendo las demás instituciones que pudieron aportar datos para el inventario, junto con las principales fuentes de información institucional, sistemas de información o bases históricas en cada actividad. Una vez se alcanzó la estructuración con la estrategia descrita, se procesó la información de acuerdo con los requerimientos de cada metodología, aclarando inconsistencias o ampliando la información por parte de los expertos. Asimismo, se identificaron los vacíos que persisten en relación con las deficiencias en los sistemas de información y criterios técnicos, para la selección de factores de emisión acordes con el país. Véase la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Matriz de variables requeridas y entidades responsables de la información

Variables	Unidades	Entidades que suministraron la información				
		DANE	SSPD	MAVDT	CAR	FAO
Tamaño de población	Habitantes	x				
Residuos sólidos generados	t/año kg/hab·día		x			
Composición de residuos sólidos	Porcentaje		x			
Residuos sólidos dispuestos	t/año		x			
Sistemas de disposición de residuos sólidos	-		x	x	x	
Cantidades tratadas de DBO ₅ en ARD	t/año		x	x		
Cantidades tratadas de DQO en ARI	t/año			x	x	
Sistemas de tratamiento de ARD	-		x	x		
Sistemas de tratamiento de ARI	-			x	x	
Caudales Tratados de ARD	m ³ /s		x	x		
Caudales Tratados de ARI	m ³ /s			x	x	
Consumo promedio de proteínas por habitante	kg hab ⁻¹ · día ⁻¹					x
Notas descriptivas de la tabla.						
DANE: Departamento Nacional de Estadística.		FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.				
SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.		ARD: Aguas residuales domésticas.				
MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.		ARI: Aguas residuales industriales.				
CAR: Corporaciones Autónomas Regionales y Urbanas.						

Fuente: La autora, 2008

La información que se analizó corresponde principalmente a la generación, recolección, caracterización y disposición final de los residuos sólidos en el país; sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (sistema de tratamiento, carga orgánica tratada, concentraciones de DBO₅, DQO y caudales) y, finalmente, la emisión de óxido nítrico proveniente de las aguas servidas humanas (ingesta diaria per cápita de proteína, tamaño de población). Es procedente destacar que parte de la información utilizada para el análisis proviene del resultado de diversos estudios realizados en el país y factores por defecto u omisión (default) de las guías de las buenas prácticas del IPCC.

6.4. PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI, describen dos métodos para estimar las emisiones de metano (CH_4) procedentes de los sitios de disposición de residuos sólidos: el método por defecto u omisión (nivel 1), con el supuesto de que la totalidad del CH_4 potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los desechos, y el método de descomposición de primer orden (DPO, nivel 2), el cual produce un perfil de emisión que depende del tiempo transcurrido y que refleja mejor las verdaderas pautas del proceso de degradación a lo largo del tiempo.

Para los propósitos del presente inventario y teniendo en cuenta la deficiencia de información, tanto actual como histórica, sobre las cantidades, composición y las prácticas de disposición de los residuos a lo largo de varias décadas, que permita utilizar el método DPO, fue necesario utilizar el método por omisión (default, nivel 1), con información de la actividad para Colombia.

Para obtener las emisiones de metano en la categoría de fuente correspondiente al tratamiento de las aguas residuales domésticas y de los efluentes industriales, fue necesario analizarlas individualmente, teniendo en cuenta los diferentes tipos de datos por actividad y factores de emisión, como se explica a continuación.

Para la estimación de emisiones de metano (CH_4) procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas, las directrices del IPCC describen un único método. Estas emisiones están en función del volumen de desechos generados y de un factor de emisión que caracteriza la medida en que estos desechos generan CH_4 , descontando de las emisiones totales el CH_4 recuperado, quemado en antorcha o utilizado como energía.

El método de estimación de las emisiones procedentes de los efluentes industriales, según las directrices del IPCC, es similar al utilizado para aguas residuales domésticas. La determinación de los factores de emisión y los datos de la actividad, es una tarea más compleja porque existen muchas clases de efluentes e industrias distintas que analizar. Las estimaciones más exactas de esta subcategoría de fuente se basan en las mediciones realizadas en fuentes localizadas.

Con respecto al óxido nitroso (N_2O), la estimación de las emisiones indirectas originadas en la disposición de aguas residuales se describen junto con otras fuentes indirectas de N_2O , en el Módulo de agricultura¹⁸.

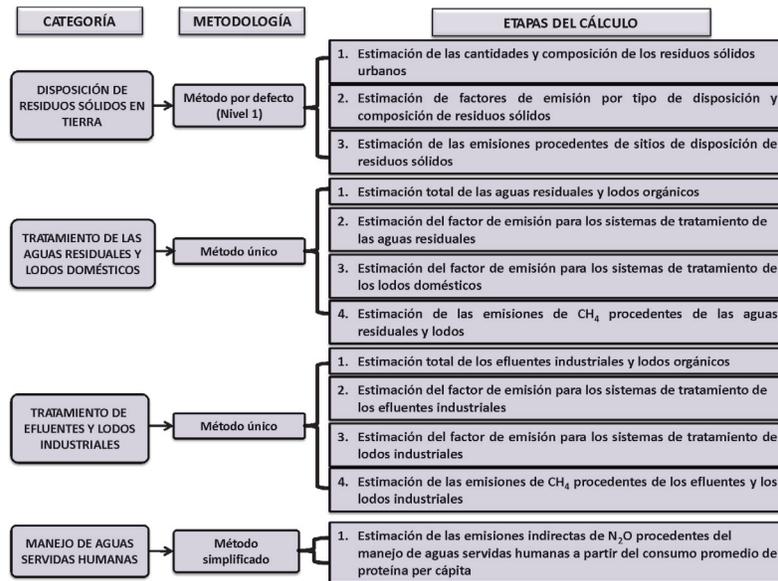
En razón a la disponibilidad actual de datos, se consideró una buena práctica el método simplificado de las directrices del IPCC para estimar las emisiones directas de N_2O procedentes de la disposición de aguas residuales. Sin embargo, se considera procedente trabajar en estos aspectos, para que en futuros inventarios se alcance un mejor nivel de detalle y, por ende, una mayor exactitud en los resultados. En la Figura 6.1 se presentan las etapas del cálculo adelantadas para obtener las emisiones.

En términos generales, la metodología utilizada en el desarrollo del Módulo de residuos se basó en la recopilación de información básica, procesamiento de datos y resultados consolidados de las emisiones de metano y óxido nitroso, a partir de estadísticas correspondientes al sector y estimaciones basadas en los factores de emisión propuestos por el IPCC.

La información básica se consolidó a través de datos estadísticos nacionales, regionales y locales, incluyendo los análisis de estudios e investigaciones. El procesamiento de datos se realizó con base en las proyecciones y cálculos de las variables utilizadas.

¹⁸ Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Capítulo 4, Agricultura. Sección 4.8, Emisiones indirectas de N_2O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.

Figura 6.1. Metodología y etapas del cálculo para las emisiones de GEI, años 2000 y 2004

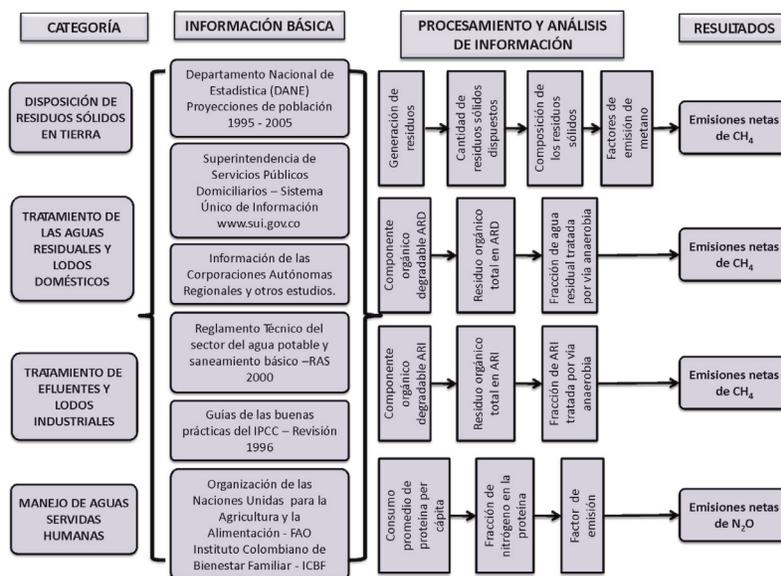


Fuente: La autora, 2008

Los resultados del cálculo de emisiones de metano se obtuvieron a partir de la aplicación de los factores de emisión propuestos por el IPCC para la disposición de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Lo anterior teniendo en cuenta los datos de las cantidades tratadas y dispuestas, la fracción de componente orgánico degradable, la fracción de carbono liberado como metano y los factores de corrección de emisión de metano por tipo de disposición o tratamiento.

El óxido nítrico se determinó como el producto entre la población, el consumo de proteína per cápita y el porcentaje en peso de nitrógeno contenido en las proteínas. La Figura 6.2 muestra la estructura de cálculo con la cual se obtuvieron las emisiones de GEI del Módulo de residuos.

Figura 6.2. Estructura de cálculo de las emisiones de GEI, años 2000 y 2004



Fuente: La autora, 2008

6.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

De acuerdo con las metodologías empleadas para el cálculo, expuestas en el Anexo 6.1, a continuación se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de gases de efecto invernadero para los años 2000 y 2004 en el Módulo de residuos, con sus tablas, que resumen dicha información. Véanse las Tablas 6.5 y 6.6.

Tabla 6.5. Resultado de las emisiones de GEI, año 2000

Módulo de residuos / Categorías	Gases de Efecto Invernadero (gigagramos -Gg-)		Gg CO ₂ eq	Participación dentro del módulo%
	CH ₄	N ₂ O		
Total			9315,54	
A. Residuos sólidos				
Residuos sólidos dispuestos en tierra	392,22		8236,56	88,42
B. Aguas residuales			391,40	4,20
Tratamiento de aguas residuales domésticas y comerciales	14,4		302,4	
Tratamiento de aguas residuales industriales	4,24		89,00	
C. Manejo de aguas servidas humanas		2,218	687,58	7,38

Fuente: La autora, 2008.

Tabla 6.6. Resultado de las emisiones de GEI, año 2004

Módulo de residuos / Categorías	Gases de Efecto Invernadero (gigagramos -Gg-)		Gg CO ₂ eq	Participación dentro del módulo%
	CH ₄	N ₂ O		
Total			10.277,35	
A. Residuos sólidos				
Residuos sólidos dispuestos en tierra	430,869		90,48,25	88,04
B. Aguas residuales			457,82	4,45
Tratamiento de aguas residuales domésticas y comerciales	15,46		324,66	
Tratamiento de aguas residuales industriales	6,341		133,16	
C. Manejo de aguas servidas humanas		2,488	771,28	7,50

Fuente: La autora, 2008.

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se realiza el análisis por categoría de fuente de los resultados obtenidos en el cálculo de las emisiones de GEI para el Módulo de residuos, incluyendo su tendencia con base en los inventarios de emisiones de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004.

6.6.1 Análisis de resultados por categoría de fuente

Con respecto al metano, los resultados del Módulo de residuos alcanzan para el año 2000: 392,217 Gg de CH₄; por su parte, para el año 2004 se estimaron 430,869 Gg de CH₄, representando un incremento de 10,2% con respecto al año 2000, provenientes de la disposición en tierra de residuos sólidos, sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales. En la Figura 6.3 se ilustra el comportamiento para los años 2000 y 2004, por categoría de fuente.

De la misma manera, con respecto al óxido nitroso, las cifras calculadas del manejo de las aguas servidas humanas alcanzaron: 2,218 y 2,488 Gg de N₂O, en los años 2000 y 2004 respectivamente, representando esta última emisión un incremento de 14,2% con respecto al año 2000. Véase la Figura 6.4.

Figura 6.3. Emisiones de CH₄ por categoría de fuente para los años 2000 y 2004

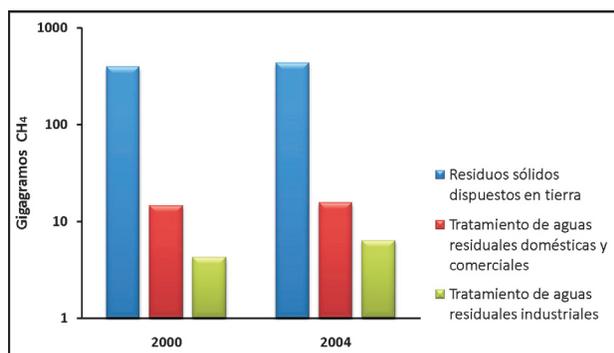
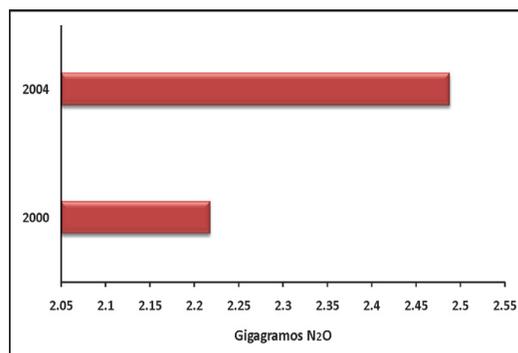


Figura 6.4. Emisiones de N₂O por manejo de aguas servidas humanas para los años 2000 y 2004



Fuente: La autora, 2008.

6.6.2 Análisis comparativo de las emisiones de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004

En términos generales, las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) calculadas en el Módulo de residuos (sólidos dispuestos en tierra y tratamiento de aguas para los años 1990, 1994, 2000 y 2004) muestran una tendencia creciente.

La excepción se registra en las emisiones de CH₄ provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, que entre los años 1990 y 1994 presenta un leve descenso que puede deberse, en principio, a la exhaustividad de la información compilada y utilizada para el cálculo, ya que para el primer inventario se utilizaron descargas de aguas residuales industriales con base en productos (datos estimados), mientras que para el presente inventario se tiene información de descargas reales de medición de flujos y caracterización de aguas residuales. En la Tabla 6.7, se relacionan los valores para los años objeto de cálculo de GEI.

Tabla 6.7. Emisiones de CH₄ por fuente de emisión, años 1990, 1994, 2000 y 2004

Fuente de emisión de GEI	Emisiones de metano CH ₄ (Gg) y variación (%)			
	1990	1994	2000	2004
Residuos sólidos dispuestos en tierra	173,9	193,4	392,22	430,87
Variación porcentual de emisión de CH ₄ por residuos sólidos, respecto al año anterior (%)		11,21%	102,80 %	9,88%
Tratamiento de aguas residuales domésticas / comerciales	2,6	5,9	14,40	15,46
Variación porcentual de emisión de CH ₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas / comerciales, respecto al año anterior (%)		126,92%	144,07%	7,36%
Tratamiento de aguas residuales industriales	5,1	4,9	4,24	6,34
Variación porcentual de emisión de CH ₄ por aguas residuales industriales, respecto al año anterior (%)		-3,92%	-13,49%	49,53%
Total emisiones de CH₄ (Gg)	181,60	204,20	410,86	452,67

Fuente: El autor, 2008

Si se observa el comportamiento de las emisiones (Figura 6.5 y Tabla 6.7), se puede advertir una variación porcentual positiva en las cifras del metano entre los años 2000 y 2004; tanto para los residuos sólidos dispuestos en tierra (9,9%) como para el tratamiento de aguas residuales domésticas (7,4%); aumento que fue más significativo para dichos años cuando se refiere al tratamiento de aguas residuales industriales (49,5%).

Figura 6.5. Tendencia de las emisiones de CH₄ para los años 1990, 1994, 2000 y 2004

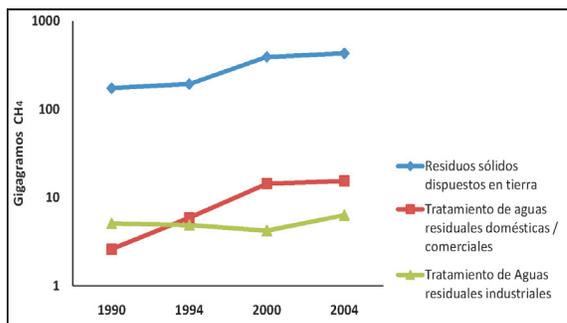
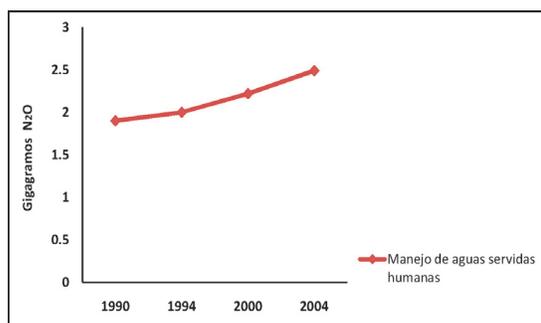


Figura 6.6. Comportamiento de las emisiones de N₂O para los años 1990, 1994, 2000 y 2004



Fuente: La autora, 2008.

Tabla 6.8. Emisiones de N₂O por fuente de emisión, años 1990, 1994, 2000 y 2004

Fuente de emisión de GEI	Emisiones de óxido nitroso N ₂ O (Gg) y variación (%)			
	1990	1994	2000	2004
Manejo de aguas servidas humanas	1,9	2,0	2,22	2,49
Variación porcentual en la emisión de N ₂ O, respecto al año anterior.		5,26 %	11,00%	12,16%

Fuente: La autora, 2008.

El análisis comparativo de las emisiones de N₂O entre los años 2000 y 2004 por el manejo de aguas servidas humanas registra una variación porcentual del 12,2% (véase la Tabla 6.8 y la Figura 6.6).

De forma similar, la producción total del Módulo de residuos en emisiones de CO₂ equivalentes presenta una tendencia creciente. Al respecto, es importante anotar que al tomar unidades comparables que permiten la confrontación de las emisiones en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), se encuentra que el manejo de las aguas servidas humanas (con la generación de N₂O) toman mayor importancia al momento de aplicar el potencial de calentamiento global (GWP)¹⁹, respecto a las emisiones derivadas por el tratamiento de aguas residuales industriales y las residuales/comerciales en conjunto. En otras palabras, las emisiones de óxido nitroso, en unidades de Gg CO₂ eq, llegan a ser la segunda fuente de emisión en importancia dentro del Módulo de residuos, después de los residuos sólidos dispuestos en tierra; véase la Tabla 6.9 y la Figura 6.7.

Tabla 6.9. Emisiones por fuente de emisión en unidades de Gg CO₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004

Fuente de emisión de GEI	Emisiones de CO ₂ eq (Gg)			
	1990	1994	2000	2004
Residuos sólidos dispuestos en tierra	3.651,9	4.061,4	8.236,6	9.048,3
Variaciones porcentuales de CO ₂ por residuos dispuestos en la tierra, respecto al año 1990.		11%	125%	148%
Manejo de aguas servidas humanas	589,0	620,0	687,6	771,3
Variaciones porcentuales de CO ₂ por el manejo de aguas servidas, respecto al año 1990.		5%	17%	31%
Tratamiento de aguas residuales domésticas / comerciales	54,6	123,9	302,4	324,7
Variaciones porcentuales de CO ₂ por el manejo de aguas residuales domésticas / comerciales, respecto al año 1990.		127%	454%	495%
Tratamiento de aguas residuales industriales	107,1	102,9	89,0	133,1
Variaciones porcentuales de CO ₂ por tratamiento de aguas residuales industriales, respecto al año 1990.		-4%	-17%	24%
Total emisiones de CO₂ eq (Gg)	4.402,6	4.908,2	9.315,5	10.277,4

Fuente: IDEAM, 2008

¹⁹ El índice de Potencial de Calentamiento Global (GWP) permite evaluar la contribución de distintos gases al efecto invernadero. El GWP define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂. En un horizonte de 100 años, una molécula de metano es 21 veces más efectiva respecto al calentamiento de la atmósfera que una molécula de dióxido de carbono, y una de óxido nitroso lo es 310 veces más efectiva.

La comparación en las emisiones totales del presente inventario de GEI, respecto al primero, debe tener en cuenta la variación en la metodología aplicada, la información utilizada en ambos inventarios (por ejemplo, tanto la capturada de sistemas de información como la estimada a través de factores de producción), la aplicación de los factores de emisión propuestos por el IPCC y el crecimiento de la población.

Si bien la comparación de los resultados entre los dos momentos de cálculo (1990-1994 frente a 2000-2004) debe realizarse considerando tanto el acervo procedimental como la disponibilidad de la información, según lo planteado en el párrafo anterior, en la Tabla 6. 9 se puede apreciar la variación porcentual registrada en el año 2004, frente al año 1990, en las emisiones de Gg CO₂ eq derivadas, tanto por los residuos sólidos dispuestos en tierra, como por el manejo de aguas residuales domésticas/comerciales. Un incremento mucho más bajo se registró en la variación de Gg CO₂ eq derivado del manejo de aguas servidas humanas, como del tratamiento de aguas residuales industriales.

En la Tabla 6.10 y en la Figura 6.7 (Izq.) se presenta el comportamiento de las emisiones por fuente de emisión en unidades de Gg CO₂ eq, para los años 1990, 1994, 2000 y 2004. La Figura 6.8 presenta las emisiones por gas en unidades de Gg CO₂ eq, para los años 1990, 1994, 2000 y 2004. Para este segundo inventario se precisó la siguiente información: fracción tratada de aguas residuales domésticas e industriales, fracción de residuos sólidos dispuestos por tipo de disposición y cargas orgánicas tratadas por sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Tabla 6.10. Emisiones por gas en unidades de Gg CO₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004

GEI	Emisiones de CO ₂ eq(Gg)			
	1990	1994	2000	2004
Metano (CH ₄)	3.813,6	4.288,2	8.628,1	9.506,1
Óxido nitroso (N ₂ O)	589,0	620,0	687,6	771,3

Fuente: La autora, 2008

Figura 6.7. Comportamiento de las emisiones por fuente de emisión en unidades de Gg CO₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004

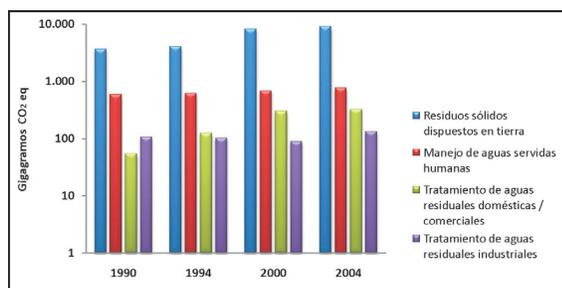
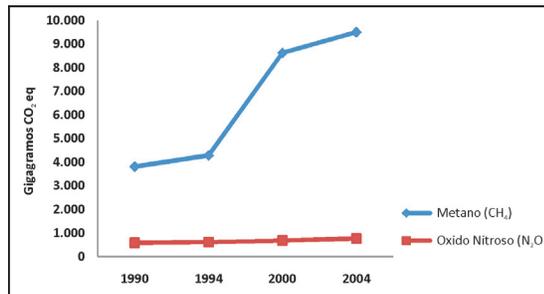


Figura 6.8. Emisiones por gas en unidades de Gg CO₂ eq, años 1990, 1994, 2000 y 2004



Fuente: IDEAM, 2008

6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo del inventario de los Gases Efecto Invernadero (GEI) del Módulo de residuos, se conformó una mesa técnica de trabajo integrada por instituciones que por su mandato institucional tienen relación con el sector de residuos, y tiene como objetivo principal ser la instancia técnica para su elaboración. Dicha mesa contribuyó con la revisión minuciosa de las guías del IPCC, en lo relacionado con la metodología del inventario y en la revisión de las principales debilidades, fortalezas y vacíos de la Primera Comunicación Nacional. De esta manera, se pretende mejorar la capacidad de participación de las instituciones que conforman la mesa técnica en torno al tema de cambio climático.



El Módulo de residuos contribuye al Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero para el año 2000 con 410,86 Gg de metano y para el año 2004 con 452,67 Gg de metano, lo cual representa un incremento de 10,2% en las emisiones generados por la disposición en tierra de residuos sólidos, sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales. Adicionalmente, por el manejo de las aguas servidas humanas se emitieron 2,22 y 2,49 Gg de N₂O en los años 2000 y 2004, respectivamente representando un incremento de 14,2%.

Las emisiones totales en CO₂ equivalentes del Módulo de residuos, para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 muestran una tendencia creciente con excepción de las emisiones provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, que entre 1990 y 1994 presenta un leve descenso; esto se debe, en principio, a la metodología utilizada. Al respecto se debe tener en cuenta que para el primer inventario se utilizaron descargas de aguas residuales industriales con base en productos (datos estimados), mientras que para este inventario se contó con información de descargas medidas (medición de flujos y caracterización de aguas residuales).

Es importante resaltar que en la actualidad se dispone de mejor información, comparada con la que se tuvo en el primer inventario, y que en cierta forma pueden explicar la variación en las emisiones de GEI. Para este segundo inventario se precisó la información relacionada tanto con la fracción tratada de aguas residuales domésticas e industriales, como con la fracción de residuos sólidos dispuestos por tipo de disposición y cargas orgánicas tratadas por sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Para futuros inventarios es importante seguir avanzando en los sistemas de información que consoliden los datos necesarios para el mismo. Por consiguiente, se debe hacer un esfuerzo continuo y una adecuada gestión de los datos y de la información, para lograr que ésta se encuentre disponible de manera oportuna y adecuada. Por tal razón, es necesario continuar con los procesos y estrategias de intercambio de información con el fin de contar con una base de datos construida a partir de un acervo de información confiable, que de manera permanente preparen las respectivas entidades para el desarrollo de los inventarios nacionales. Para ello es necesario integrar a las empresas de servicios públicos domiciliarios y los entes territoriales, con el fin de consolidar los datos en un sistema de información unificado.

En general, se logró avanzar significativamente en la subcategoría de tratamiento de las aguas residuales industriales y domésticas, sin embargo, hay que fortalecer los sistemas de información, de tal forma que se pueda realizar la consolidación total de los datos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales en el país.

En relación con la subcategoría de aguas residuales industriales, existen dificultades en el análisis de la información por la carencia de bases de datos ordenadas y consistentes. Algunas autoridades ambientales no cuentan con información consolidada de sus expedientes lo cual no permite cuantificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales existentes en el país.

Finalmente, la conformación de la mesa técnica, el intercambio de información por vía electrónica y el desarrollo de talleres, permitieron obtener una mejor calidad y volumen de información, al hacer una comparación con el primer inventario nacional, ya que la participación de las instituciones y entidades del Estado fue determinante para todo el desarrollo y cálculo de las emisiones presentadas.

BIBLIOGRAFÍA

- ATLAS, R. M. y BARTHA, R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2002. p. 607 y 608.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Convenio 325 de 2004. Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá. Medellín: AMVA. 2005.
- COLLAZOS, H. Diseño y operación de rellenos sanitarios. Bogotá: Bustos, C., Acodal, Collazos, H., 2001. p. 53.
- COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. El estado del arte de la regulación en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia. Bogotá, enero de 2001. p. 151.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Información censal y proyecciones de población 1995-2005, Bogotá: DANE, 2006.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Documento Conpes: Balance Macroeconómico, presupuesto y plan financiero para el 2006 / Departamento Nacional de Planeación. No. 3441 (agosto 2006). Bogotá: DNP, 2006. p. 9.
- ESCOBAR, Andrés. Privatización de servicios públicos sanitarios. En: Contraloría General de la República. _____ . Privatización de servicios públicos sanitarios. En: Contraloría General de la República.
- COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Tomo II Primera generación de indicadores de la línea base de la información ambiental de Colombia. Bogotá: IDEAM. 2002.
- _____. Factores de vertimiento per cápita para aguas residuales domésticas. Aplicación al cobro de la tasa retributiva, marzo de 2006.
- _____. Resolución 1390 de 2005. Bogotá: MAVDT.
- _____. Encuesta para actualizar el inventario de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales existentes en el país y conocer su estado de operación. Encuesta realizada por el MAVDT a las entidades del SINA, corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales regionales. 2006.



ANEXO

	Página
ANEXO 6.1 CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS.....	313
6.1 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS.....	313
6.1.1 Emisiones de CH ₄ por disposición de residuos sólidos en tierra	313
6.1.2 Emisiones de metano CH ₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas	315
6.1.3 Emisiones de metano CH ₄ por tratamiento de aguas residuales industriales	316
6.1.4 Emisiones de óxido nitroso N ₂ O proveniente del manejo de aguas servidas humanas	316
6.2 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI	316
6.2.1 Emisiones de CH ₄ por disposición de residuos sólidos en tierra	317
6.2.2 Emisiones de CH ₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas	318
6.2.3 Emisiones de CH ₄ por tratamiento de aguas residuales industriales	318
6.2.4 Emisiones de N ₂ O provenientes del manejo de aguas servidas humanas	320
6.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI	320
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla A6.1. Generación de residuos sólidos y producción <i>per cápita</i> para los años 2000 y 2004.	314
Tabla A6.2. Fracción de residuos dispuestos en tierra para el año 2000	314
Tabla A6.3. Fracción de residuos dispuestos en tierra para el año 2004	314
Tabla A6.4. Composición física de los residuos sólidos dispuestos en Colombia	315
Tabla A6.5. Resultado de las emisiones de GEI para el Módulo de residuos año 2000	320
Tabla A6.6. Resultado de las emisiones de GEI para el Módulo de residuos año 2004	320



ANEXO 6.1 CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS

En el presente anexo se exponen las metodologías, formas y ecuaciones empleadas para realizar el cálculo de emisiones en el Módulo de residuos; asimismo se describen los detalles del proceso adelantado para cada categoría y/o subcategoría definida por las directrices para la elaboración del inventario.

6.1 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE RESIDUOS

En el cuerpo principal del documento se presenta la metodología que se empleó en el cálculo de emisiones de GEI, generadas en el Módulo de residuos.

6.1.1 Emisiones de CH₄ por disposición de residuos sólidos en tierra

De acuerdo con la metodología del IPCC, esta categoría de fuente requiere de la siguiente información:

Población urbana

Censo del año 2005, según datos del Departamento Nacional de Estadística (DANE). Estimaciones de la población en Colombia establecen 40.282.217 habitantes y 42.367.528 habitantes para el 2000 y 2004, respectivamente.

Generación anual de residuos

Los residuos sólidos generados y la relación de residuos *per cápita* por tamaños de población, se establecieron de acuerdo con las bases de datos suministradas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, a través del Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI), por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR's) y por algunos estudios realizados en el país¹. Pese a lo anterior, para muchos de los municipios no fue posible contar con esta información, razón por la cual fue necesario hacer estimaciones estadísticas para suplir los datos faltantes. La Tabla A6.1 muestra los datos de producción *per cápita* de residuos sólidos expresados en kg hab⁻¹ año⁻¹, estimados a partir de la información recopilada, por rangos de población en cabeceras municipales, para los años 2000 y 2004.

¹ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia, Bogotá, 2004.



Tabla A6.1. Generación de residuos sólidos y producción *per cápita* para los años 2000 y 2004

Rango de población	ppc* (kg · hab ⁻¹ · día ⁻¹)	
	Año 2000	Año 2004
>1.000.000	0,82	0,79
500.000 y 100000	0,73	0,79
100.000 y 500.000	0,66	0,79
50.000 y 100000	0,59	0,69
30.000 y 50.000	0,69	0,53
10.000 y 30.000	0,68	0,51
< 10.000	0,62	0,45
TOTAL	0,68	0,65

* Esta fracción se calcula sobre el total de los residuos sólidos dispuestos en tierra.

Fuente: Cálculos IDEAM, 2008, con base en información SSPD.

Residuos sólidos dispuestos

La cantidad de residuos sólidos y el tipo de disposición se determinó a partir de la información suministrada por la SSPD, Sistema Único de Información SUI, y del estudio realizado por esta entidad, que estableció los tipos de disposición final, antes y después de la aplicación de la Resolución 1390 de 2005². En las Tablas A6.2 y A6.3, se presenta la cantidad de residuos y la fracción dispuesta, por sitio de disposición final, para los años 2000 y 2004, respectivamente.

Tabla A6.2. Fracción de residuos dispuestos en tierra para el año 2000

Tipo de disposición (2000)	Cantidad dispuesta t/año	Fracción dispuesta	Tipo de disposición metodología IPCC	Fracción de residuos dispuestos en tierra*
Residuos sólidos dispuestos en tierra				
Relleno sanitario	5.405.986,75	0,6825	Relleno sanitario	0,7031
Botadero a cielo abierto	2.139.560,10	0,2701	Botadero a cielo abierto	0,2783
Enterramiento	142.907,93	0,0180	Enterramiento	0,0186
Total dispuesto en tierra (t/año)	7.688.454,78			
Residuos sólidos NO dispuestos en tierra				
Cuerpo de agua	19.224,74	0,0024		
Incineración	12.063,03	0,0015		
Planta integral	164.534,41	0,0208		
No se conoce	36.757,83	0,0046		
Total NO dispuesto en tierra (t/año)	232.580,00			
Total dispuesto (t/año)	7.921.034,78			

* Esta fracción se calcula sobre el total de los residuos sólidos dispuestos en tierra.

Fuente: Datos de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Cálculos de los autores, 2008

Tabla A6.3. Fracción de residuos dispuestos en tierra para el año 2004

Tipo de disposición (2004)	Cantidad dispuesta t/año	Fracción dispuesta	Tipo de disposición metodología IPCC	Fracción de residuos dispuestos en tierra*
Residuos sólidos dispuestos en tierra				
Relleno sanitario	5.997.006,91	0,7007	Relleno sanitario	0,7172
Botadero a cielo abierto	2.232.022,92	0,2608	Botadero a cielo abierto	0,2669
Enterramiento	132.352,47	0,0155	Enterramiento	0,0158
Total dispuesto en tierra (t/año)	8.361.382,30			
Residuos sólidos NO dispuestos en tierra				
Cuerpo de agua	15.983,58	0,0019		
Incineración	9.929,57	0,0012		
Planta Integral	171.587,48	0,0200		
No se conoce	98,55	0,0000		
Total NO dispuesto en tierra (t/año)	197.599,17	1,0001		
Total dispuesto (t/año)	8.558.981,47			

* Esta fracción se calcula sobre el total de los residuos sólidos dispuestos en tierra.

Fuente: IDEAM, 2008. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Número 1390 del 27 de septiembre de 2005. Por la cual se establecen directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica a rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el artículo 13 de la Resolución 1045 de 2003 que no cumplan las obligaciones indicadas en el término establecido en la misma.

Composición de los residuos sólidos

En el país, la información relacionada con la composición de los residuos sólidos dispuestos en tierra es escasa y puntual, y la documentación hallada es resultado de estudios específicos³. En la Tabla A6.4, se presenta un consolidado de estos resultados para establecer un valor aproximado de la composición de los residuos sólidos del país. Los resultados obtenidos se usan para determinar la cantidad de carbono orgánico degradable necesaria para el cálculo de las emisiones de GEI, para la categoría de residuos sólidos dispuestos en tierra.

Tabla A6.4. Composición física de los residuos sólidos dispuestos en Colombia

Tipo de residuo dispuesto	% Composición física de los residuos sólidos
Materia orgánica	56,44
Plástico	12,22
Peligrosos	6,86
Otros	4,68
Cartón	3,92
Vidrio	3,65
Papel	3,70
Textiles	3,17
Ordinarios	2,61
Metales	1,53
Cuero	0,53
Tetrapack	0,37
Caucho	0,32

Fuente: IDEAM, 2008

La composición de los residuos sólidos del país se encuentra constituida principalmente por materia orgánica, plástico y residuos peligrosos en 56,44%, 12,22% y 6,86%, respectivamente. Aunque este tipo de estudios aún no se ha realizado para todos los municipios, esta información es la base para los cálculos del inventario. Actualmente, se están desarrollando los Planes de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIRS), en diversos municipios, lo cual facilitará la determinación de la composición de los residuos para los futuros inventarios.

6.1.2 Emisiones de metano CH₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas

El análisis de la información sobre el tratamiento de las aguas residuales domésticas se hizo gracias al aporte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR). Adicionalmente, se hicieron diversas consultas a expertos nacionales y se asumieron las recomendaciones de las guías de las buenas prácticas del IPCC del año 2000. La información para estimar las emisiones de GEI en el tratamiento de aguas residuales domésticas es la siguiente:

Materia orgánica contenida en las aguas residuales domésticas

Se tiene como referencia los valores estimados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), establecidos en las guías de las buenas prácticas del IPCC para América Latina, año 2000. Sin embargo, se tienen resultados de estudios realizados en el país⁴, en donde el factor de vertimiento de 0,0384 kg • persona⁻¹ • día⁻¹ de DBO₅, es el valor más cercano a la realidad del país, el cual se usó para la

3 a) El área metropolitana del Valle de Aburrá AMVA, mediante el Convenio 325 Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá, 2004. caracterizó los residuos de ocho municipios de su jurisdicción, incluyendo a Medellín; analizando los residuos por estrato social y tipo, encontró principalmente: materia orgánica, papel, cartón, plástico, vidrio, metales, tetrapack, textiles, cuero, residuos peligrosos y barrido de calles, entre otros. b) La Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico CDA, Plan de Gestión Integral de residuos sólidos del municipio de San José del Guaviare, PGIRS, Proyectos de Ingeniería Ambiental y Agropecuaria PINAG, CDA, 2005. Trabajo que caracterizó los residuos del municipio de San José del Guaviare por estrato social. c) En el 2006, se llevó a cabo el convenio interadministrativo Área Metropolitana de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM-UIS, que presentó varias caracterizaciones de residuos realizadas en el año 2000 y 2002.

4 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Factores de vertimiento *per cápita* para aguas residuales domésticas. Aplicación del cobro de la tasa retributiva, marzo de 2006.



estimación de las cargas de DBO_5 en los sistemas de tratamiento de aguas residuales que no contaban con tal información.

Carga orgánica tratada por vía anaerobia

Los resultados de los inventarios realizados por el MAVDT, complementan la información suministrada por la SSPD a través del Sistema Único de Información SUI y la suministrada por catorce corporaciones autónomas regionales, y que corresponde básicamente a la tecnología utilizada en cada sistema de tratamiento caudal tratado, concentración de entrada y salida de DBO_5 y carga orgánica tratada en términos de DBO_5 , recuperación de metano y eficiencias de remoción de la DBO_5 , entre otras.

Pese a lo anterior, aún es insuficiente la información que permita determinar la cantidad tratada de DBO_5 en cada uno de los sistemas de tratamiento anaeróbicos existentes.

6.1.3 Emisiones de metano CH_4 por tratamiento de aguas residuales industriales

El análisis de la información del tratamiento de las aguas residuales industriales se hizo con el aporte de las corporaciones autónomas regionales. Asimismo, se consultó a expertos nacionales y se adoptaron las recomendaciones de las guías de las buenas prácticas del IPCC, del año 2000.

Para el cálculo de las emisiones, en principio se tomaron las industrias que utilizaron tratamientos de tipo anaeróbico en los años 2000 y 2004. Dichos tratamientos utilizados incluyen: filtros anaerobios, lodos activados, filtros percoladores, lagunas de estabilización, reactores anaerobios de flujo ascendente con manto de lodo (UASB por sus siglas en inglés⁵), y lagunas facultativas.

El análisis de la información se dificulta por la carencia de bases de datos ordenadas y consistentes con la información del tratamiento de las aguas industriales en el país. La mayoría de las autoridades ambientales no cuentan con la información de sus expedientes consolidada, que les permita dar cuenta de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.

6.1.4 Emisiones de óxido nitroso N_2O proveniente del manejo de aguas servidas humanas

Esta información corresponde al consumo promedio de proteína *per cápita* expresada en $\text{kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, dato que proviene de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), y del tamaño de la población que suministra el DANE. Igualmente, los cálculos realizados se basaron en los valores por defecto establecidos en las guías de las buenas prácticas del IPCC, del año 2000.

6.2 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Tal como se mencionó en el documento principal, para los propósitos del presente inventario, teniendo en cuenta la falta de información suficiente, tanto actual como histórica sobre las cantidades, composición y las prácticas de disposición de los residuos a lo largo de varias décadas, que permita utilizar el método DPO, fue necesario utilizar el método por omisión (nivel 1), con información de la actividad para Colombia.

Para obtener las emisiones de metano en la categoría de fuente correspondiente al *tratamiento de las aguas residuales domésticas y de los efluentes industriales*, se adelantó el análisis separadamente, teniendo en cuenta los diferentes tipos de datos por actividad y factores de emisión, como se explica a continuación.

5 UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de manto lodo con flujo ascendente).

6.2.1 Emisiones de CH₄ por disposición de residuos sólidos en tierra

Con base en los resultados de las estimaciones de población efectuadas por el DANE (censo del año 2005), se determinó una población de 40.282.217 habitantes para el año 2000 y 42.367.528 habitantes para el año 2004⁶.

Los residuos generados en centros urbanos para el año 2000 se estimaron en: 7.921.034,78 toneladas (0,721 kg hab⁻¹ • día⁻¹) y para el año 2004 alcanzaron 8.558.981,47 toneladas (0,716 kg hab⁻¹ • día⁻¹), de las cuales, en el año 2000, 70,3% se dispusieron en rellenos sanitarios; 27,8% botaderos a cielo abierto y 1,9% fueron enterradas. En el año 2004 71,7% se dispusieron en rellenos sanitarios; 26,7% botaderos a cielo abierto y 1,6% fueron enterradas⁷.

De acuerdo con las guías de las buenas prácticas del IPCC, las emisiones de metano provenientes de la disposición en tierra de residuos sólidos se estiman por omisión (*default*), nivel 1, con base en la siguiente expresión:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [(RSUT \cdot L_o)] \cdot (1-OX)$$

Donde las variables significan:

RSUT = Cantidad total de residuos sólidos urbanos dispuestos en tierra (Gg/año).

L_o = Tasa potencial de generación de metano por unidad de residuos (Gg de CH₄/Gg de residuos).

R = Metano recuperado (Gg/año).

OX = Factor de oxidación⁸ (fracción). Cero por defecto u omisión del IPCC.

El cálculo de la tasa potencial de generación de metano por unidad de residuo (*L_o*) se obtuvo de la siguiente manera:

$$L_o = FCM \cdot COD \cdot CODF \cdot F \cdot (16/12)$$

Donde:

FCM = Factor de corrección para el metano (fracción).

COD = Fracción de carbono orgánico degradable [fracción (Gg C/Gg de residuos)].

CODF = Fracción de COD que realmente se degrada, 0,77 por defecto del IPCC.

F = Fracción del carbono liberado como metano, 0,5 por defecto del IPCC.

16/12 = Relación de conversión de carbono a metano.

El factor de corrección de metano (*FCM*) da cuenta del hecho de que los sitios de disposición no controlados producen menos metano a partir de una determinada cantidad de residuos, que los sitios de disposición controlados, debido a que la fracción de residuos que se descompone aeróbicamente en las capas superiores de los sitios de disposición no controlados es mayor.

$$FCM = (1 \cdot C) + (0,8 \cdot NCP) + (0,4 \cdot NCPP) + (0,4 \cdot NINN)$$

Donde:

C = Fracción de residuos dispuestos en sitios de disposición controlados⁹

NCP = Fracción de residuos dispuestos en sitios de disposición no controlados, profundos (> 5 m de desechos)

6 En este módulo, para las estimaciones que requieren el número de habitantes en zonas urbanas, se asumieron las proyecciones de población realizadas por el DANE a partir del Censo de 1993, con resultados de población en las cabeceras municipales de 30.099.109 habitantes para el 2000 y 32.755.957 habitantes para el 2004. Se asumen estos datos en el cálculo del inventario porque se carece de este tipo de estimaciones de población urbana y rural a partir del Censo de 2005.

7 Estos porcentajes sólo tienen en cuenta los residuos dispuestos en tierra.

8 El factor de oxidación (*OX*) refleja la cantidad de metano (CH₄) procedente de los sitios de disposición de residuos que se oxida en el suelo o en otros materiales que cubren los residuos. Un factor de oxidación de cero significa que no hay oxidación, y si *OX* es igual a 1, ello significa que el 100% del CH₄ se oxida.

9 En los sitios de disposición controlados debe haber un sistema de disposición controlada de los residuos (es decir, zonas específicas para depositarlos, cierto grado de control de la recolección y algunas medidas de control de los incendios) y debe utilizarse alguno de los siguientes elementos: material de cobertura, compactado mecánico o nivelación de los desechos; para el inventario de GEI se toman como controlados los rellenos sanitarios.



NCPP = Fracción de residuos dispuestos en sitios de disposición no controlados, poco profundos (< 5 m de desechos)

NINN = Fracción de residuos dispuestos en sitios de disposición no incluidos en ninguna categoría¹⁰

La fracción de carbono orgánico degradable (COD), es el carbono orgánico que puede ser objeto de descomposición bioquímica y se expresa como Gg de carbono por Gg de residuos, según la siguiente expresión:

$$COD = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$$

Donde:

A = La fracción de residuos sólidos urbanos, RSU, compuesta de papel y textiles.

B = La fracción de RSU compuesta por desechos de jardín, desechos de parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos.

C = La fracción de RSU compuesta de restos de alimentos.

D = La fracción de RSU compuesta de madera o paja.

Con la información de las variables para el cálculo se estimaron las emisiones para los años 2000 y 2004.

6.2.2 Emisiones de CH₄ por tratamiento de aguas residuales domésticas

En Colombia, para los años 2000 y 2004, las cargas de materia orgánica total producidas por la población urbana fueron de 605.218.394 kg de DBO/año y 648.080.195 kg de DBO/año, respectivamente. De estos, en el 2000 se trataron por vía anaerobia 38.010.140,50 kg DBO/año (6,3%) y en el 2004 se trataron 42.762.528,28 kg DBO/año (6,6%). El factor de emisión de metano utilizado fue de 0,6 kg CH₄/kg DBO, propuesto por el IPCC¹¹.

De acuerdo con la guía de las buenas prácticas del IPCC, las emisiones de metano provenientes del tratamiento de las aguas residuales domésticas están en función del volumen de desechos generados y de un factor de emisión que caracteriza la medida en que tales desechos generan CH₄:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = (ROT \cdot FE) - RM$$

Donde:

ROT = Residuo orgánico total en aguas residuales (kg DBO/año)

FE = Factor de emisión medio para las aguas residuales domésticas (kg CH₄/kg DBO)

RM = Metano recuperado y/o quemado en antorcha (kg CH₄)

El factor de emisión para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas es una función del potencial máximo de producción de metano de cada tipo de desechos (*B₀*) y del promedio ponderado de los factores de conversión del metano (FCM) de los distintos sistemas utilizados para el tratamiento de aguas residuales en el país.

$$FE = [(FT_F \cdot FCM_F) + (FT_L \cdot FCM_L) + (FT_R \cdot FCM_R)] \cdot B_0$$

Donde:

FTF = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de filtros.

¹⁰ El valor por omisión de 0,6 para los sitios de disposición no incluidos en ninguna categoría puede resultar inapropiado para los países en desarrollo que tengan un alto porcentaje de vertederos no controlados de poca profundidad, ya que probablemente ello conducirá a sobreestimar las emisiones. Por lo tanto, el IPCC exhorta a los organismos encargados de los inventarios en los países en desarrollo a que utilicen como FCM el valor de 0,4, a menos que cuenten con datos documentados que indiquen la existencia en sus respectivos países de prácticas de control de los sitios de disposición.

¹¹ Las directrices del IPCC sugieren un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de demanda química de oxígeno DQO. Las aguas residuales domésticas sin tratar tienen comúnmente un valor de DQO (mg/l) que es 2 a 2,5 veces mayor que el de la demanda biológica de oxígeno DBO (mg/l); así que es preciso convertir el valor de B0 basado en la DQO en un valor basado en la DBO, multiplicando el primero por un factor por defecto de 2,5. Por lo tanto, es una buena práctica usar un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de DQO o un valor por defecto de 0,6 kg de CH₄/kg de DBO.

- FTL = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de lagunas.
 FTR = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de reactores.
 $FCMF$ = Factor de conversión del metano para el sistema de filtros, 0,80 por defecto del IPCC.
 $FCML$ = Factor de conversión del metano para el sistema de lagunas, 0,20 por defecto del IPCC.
 $FCMR$ = Factor de conversión del metano para el sistema de reactores, 0,80 por defecto del IPCC.
 B_o = Capacidad máxima de producción de metano ($\text{kg CH}_4/\text{kg DBO}$), 0,60 por defecto del IPCC.

Una vez se tienen los resultados de las variables necesarias para el cálculo, se procede a estimar las emisiones para los años 2000 y 2004.

6.2.3 Emisiones de CH_4 por tratamiento de aguas residuales industriales

En la aplicación de la metodología de cálculo de las emisiones de metano por tratamiento de aguas residuales industriales, se consideraron las principales industrias del país que realizaron algún tipo de tratamiento para sus aguas residuales principalmente por vía anaeróbica. Por lo anterior, fue necesario tener en cuenta a las industrias ubicadas en los grandes corredores industriales del país.

En el cálculo se utilizaron los factores propuestos por el IPCC para determinar el factor de emisión de metano, el dato de la carga orgánica contenida en las aguas residuales industriales que se obtuvo de las estadísticas solicitadas a las diferentes autoridades ambientales, la fracción de agua residual industrial tratada por tipo de sistema anaeróbico, el factor de corrección de metano y la capacidad máxima de producción de metano (B_o).

De acuerdo con las guías de las buenas prácticas del IPCC, las emisiones de metano provenientes del tratamiento de las aguas residuales industriales están en función del volumen de desechos generados y de un factor de emisión que caracteriza la medida en que tales desechos generan CH_4 .

$$\text{Emisiones de } \text{CH}_4 = (\text{ROT} \cdot \text{FE}) - \text{RM}$$

Donde:

- ROT = Residuo orgánico total en aguas residuales (kg DQO/año)
 FE = Factor de emisión medio para las aguas residuales domésticas ($\text{kg CH}_4/\text{kg DQO}$)
 RM = Metano recuperado y/o quemado en antorcha (kg CH_4)

El factor de emisión para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales industriales es una función del potencial máximo de producción de metano de cada tipo de desechos (B_o) y del promedio ponderado de los factores de conversión del metano (FCM) de los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados.

$$\text{FE} = [(FT_F \cdot \text{FCM}_F) + (FT_L \cdot \text{FCM}_L) + (FT_R \cdot \text{FCM}_R) + (FT_{LA} \cdot \text{FCM}_{LA})] \cdot B_o$$

Donde:

- FTF = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de filtros
 FTL = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de lagunas
 FTR = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de reactores
 $FTLA$ = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de lodos activados
 $FCMF$ = Factor de conversión del metano para el sistema de filtros, 0,80 por defecto del IPCC
 $FCML$ = Factor de conversión del metano para el sistema de lagunas, 0,20 por defecto del IPCC
 $FCMR$ = Factor de conversión del metano para el sistema de reactores, 0,80 por defecto del IPCC
 $FCMLA$ = Factor de conversión del metano para el sistema de lodos activados, 0,10 por defecto del IPCC
 B_o = Capacidad máxima de producción de metano, ($\text{kg CH}_4/\text{kg DQO}$), 0,25 por defecto del IPCC



Después de tener la información requerida, se procedió con la estimación de las emisiones para los años 2000 y 2004.

6.2.4 Emisiones de N₂O provenientes del manejo de aguas servidas humanas

La emisión de óxido nitroso se determina como el producto entre la población, el consumo de proteína per cápita y el porcentaje en peso de nitrógeno contenido en las proteínas. Para estimar las emisiones netas de N₂O en el país se consideró un consumo de proteína *per cápita* de 21,9 kg • hab⁻¹ • año⁻¹ para el año 2000 y 23,36 kg • hab⁻¹ • año⁻¹ para el 2004. Lo anterior con base en las estadísticas de seguridad alimentaria y consumo de nutrientes, de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)¹².

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = CM_{PR} \cdot NH \cdot FRAC_{NPR} \cdot EF_6 \cdot (44/28) \cdot 10^{-6}$$

Donde:

CM_{PR} = Consumo medio anual *per cápita* de proteína (kg • hab⁻¹ • año⁻¹).

NH = Número total de habitantes

FRAC_{NPR} = Fracción de nitrógeno en la proteína (kg N/kg proteína), el valor por defecto es 0,16

EF₆ = Factor de emisión, kg N₂O • N/kg de N, el valor por defecto es 0,01

44/28 = Relación de conversión

Una vez se tienen los resultados de las variables necesarias para el cálculo se procede a estimar las emisiones para los años 2000 y 2004.

6.3 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

De acuerdo con las metodologías empleadas para el cálculo, expuestas anteriormente, los resultados obtenidos de las emisiones de gases de efecto invernadero, correspondientes a los años 2000 y 2004 en el Módulo de residuos, se presentan en las Tablas A6.5 y A6.6. Los análisis de los valores obtenidos se presentan en el texto principal del documento.

Tabla A6.5. Resultado de las emisiones de GEI, año 2000

Módulo de residuos/Categorías (2000)	Gases de Efecto Invernadero (gigagramos -Gg-)	
	CH ₄	N ₂ O
A. Residuos sólidos		
Residuos sólidos dispuestos en tierra	392,217	
B. Aguas residuales		
Tratamiento de aguas residuales domésticas y comerciales	14,40	
Tratamiento de aguas residuales industriales	4,238	
Manejo de aguas servidas humanas		2,218

Fuente: IDEAM, 2008.

Tabla A6.6. Resultado de las emisiones de GEI, año 2004

Módulo de residuos/Categorías (2004)	Gases de Efecto Invernadero (gigagramos -Gg-)	
	CH ₄	N ₂ O
A. Residuos sólidos		
Residuos sólidos dispuestos en tierra	430,889	
B. Aguas Residuales		
Tratamiento de aguas residuales domésticas y comerciales	15,46	
Tratamiento de aguas residuales industriales	6,341	
Manejo de aguas servidas humanas		2,488

Fuente: IDEAM, 2008.

¹² http://www.fao.org/faostat/foodsecurity/index_es.htm