



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO PARA LA REGIÓN CUNDINAMARCA – BOGOTÁ

ANA DERLY PULIDO GUIO

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Bogotá, Colombia
2012



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO PARA LA REGIÓN CUNDINAMARCA – BOGOTÁ

ANA DERLY PULIDO GUIO

Tesis de maestría presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

Rodrigo Jiménez Pizarro, Ph.D.

Grupo de Investigación:

Calidad del Aire

Línea de Investigación:

Gases de efecto invernadero

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Bogotá, Colombia
2012

A mi hermosa madre, mi inspiración.

Agradecimientos:

A Dios, por su infinito amor.

Al Ingeniero Rodrigo Jiménez, por ser excelente director de tesis y consejero y motivador constante.

Al Ingeniero Néstor Rojas por su asesoría y motivación.

A la Universidad Nacional, de donde brota mi mayor alimento intelectual.

Al proyecto PRICC por brindar el escenario y apoyo económico para realizar la investigación.

A los miembros del grupo PRICC, por su apoyo incondicional y confianza, especialmente a:

- ✓ Francisco Canal, Diana Rojas e Isabel Castro, miembros del Equipo Coordinador.
- ✓ Margarita Gutiérrez, MADS
- ✓ Natalia Gutiérrez, IDEAM – Estudios Ambientales – Grupo de Cambio Global
- ✓ Camilo Luengas, CAR
- ✓ Alfonso Mahecha, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural –Gobernación de Cundinamarca
- ✓ Mariela Rodríguez, SDA

A mi mami Oliva por ser luz, sonrisa y fuerza en mi vida.

A mi padre Víctor y hermanos Herney, Gomer y Leyla, por su infinita confianza, ejemplo y apoyo.

A mi primita Sandris por ser mi compañera fiel en cada etapa de mi vida.

A todos mis amigos que estuvieron presentes de todas las formas en este proceso, para apoyarme y motivarme siempre.

Resumen

Diferentes organizaciones internacionales, tales como los programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Medio Ambiente (PNUMA), han recientemente reconocido la importancia de empoderar a niveles sub-nacionales, regionales y municipales, en materia de gobernabilidad climática, según el principio de subsidiaridad¹. Las autoridades regionales y locales tienen a su cargo responsabilidades en materia de reglamentación y ordenación del territorio de muchos sectores emisores de gases de efecto invernadero (GEI) y/o vulnerables al impacto climático, y que por su proximidad con la población favorecen los procesos de búsqueda de compromisos, sensibilización y educación ciudadana. La presente investigación se desarrolla en el marco del “Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital PRICC (Bogotá - Cundinamarca)”, una iniciativa de integración del cambio climático a la toma de decisiones regionales y locales. La investigación aquí reportada sirve dos propósitos: a) determinar metodologías apropiadas al contexto colombiano para la regionalización de inventarios de emisiones GEI, y b) estimar el inventario de emisiones de GEI en la Región Cundinamarca-Bogotá, desagregado sectorialmente como herramienta orientadora de planes de mitigación.

Las emisiones totales de GEI en el año 2008 en la región Cundinamarca-Bogotá se estiman en $22,96 \pm 1,25$ (1-sigma) Tg de CO₂ equivalente (CO₂-e), de las cuales $10,46 \pm 0,93$ Tg CO₂-e corresponden a Cundinamarca, y $12,51 \pm 0,83$ Tg CO₂-e a Bogotá. Del total de emisiones en Cundinamarca, el 56% corresponde al módulo de energía, el 35% agricultura, 6% residuos y 3% procesos industriales. El 63% de las emisiones en Cundinamarca tienen su origen en el transporte por carretera, suelos agrícolas, fermentación entérica y uso de combustibles en la industria cementera. En Bogotá la distribución de emisiones por módulo es la siguiente: 73,3% energía, 24,8% residuos, 1,6% procesos industriales y 0,3% agricultura. El transporte por carretera y la disposición de residuos sólidos aportan el 62% de las emisiones en Bogotá. Estos sectores en Bogotá y Cundinamarca son considerados estratégicos para la evaluación de opciones de reducción de emisiones GEI.

Para el cálculo de emisiones se empleó metodología de nivel 1 IPCC 1996, dado que no se cuenta con factores de emisión propios para la región o el país. Para la estimación de la actividad regional en las categorías uso de combustibles en industria manufacturera, comercial y residencial (excepto para gas natural y gas licuado de petróleo), uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y sustitutos, y uso de fertilizantes (para el total de emisiones de suelos agrícolas), se desarrollaron y emplearon metodologías de regionalización *Top-Down* (TD), basadas en indicadores nacionales y regionales de intensidad energética, consumos per cápita e intensidad de uso de fertilizantes. Para las restantes 22 categorías se emplearon metodologías *Bottom-Up* (BU) dada la disponibilidad de información regional.

¹ El principio de subsidiariedad, en su definición más amplia, dispone que un asunto debe ser resuelto por la autoridad (normativa, política o económica) más próxima al objeto del problema.

Se espera que las metodologías desarrolladas y aplicadas, y el compendio de información obtenida, faciliten la estimación de inventarios GEI en otras regiones de Colombia.

Palabras clave:

Bogotá; Cundinamarca; Gases efecto invernadero; Inventario de emisiones; Estimación *Bottom-up*; Estimación *Top-Down*; Análisis de incertidumbre; Categoría de fuente; Desagregación sectorial

Abstract

Several international organizations, such as the United Nations Development Program (UNDP) and the United Nations Environment Program (UNEP), have recently recognized the importance of empowering sub-national decision levels, regional and municipal, on climatic governance, according to the subsidiarity principle². Regional and local authorities are responsible for land use management and for regulating economic sectors that emit greenhouse gases (GHG) and/or that are vulnerable to climate change, and are in close proximity to the population, which make them better suited for educating the public, and for achieving commitment among various stakeholders. This investigation was developed within the frame of the Regional Integrated Program on Climate Change for the Cundinamarca-Bogota Region (PRICC), an initiative aimed at incorporating the climate dimension into the regional and local decision making. The investigation here reported serves two purposes: a) to determine Colombian context adapted methodologies for estimating regional GHG emissions, and b) to estimate an economic sector disaggregated GHG emission inventory for the Cundinamarca-Bogota region as a mitigation decision-making tool.

The total GHG emissions in the Cundinamarca-Bogota Region on 2008 are estimated at 22.96 ± 1.25 (1-sigma) Tg of CO₂ equivalent (10.46 ± 0.93 Tg CO₂-e from Cundinamarca and 12.51 ± 0.83 Tg CO₂-e from Bogota). Cundinamarca's lumped emissions are distributed as follows: 56% energy, 35% agriculture, 6% waste disposal and 3% industrial processes. A more detailed disaggregation reveals that 63% of Cundinamarca's GHG emissions are due to road transportation, agricultural soil management, enteric fermentation, and fuel use in the cement industry. Lumped emissions in Bogota are shared as follows: 73.3% energy, 24.8% waste disposal, 1.6% industrial processes and 0.3% agriculture. The road transportation and waste disposal sectors share 62% of emissions in Bogota. The activity sectors in Bogota and Cundinamarca above are considered the main GHG mitigation assessment targets.

GHG emissions were calculated using IPCC 1996 – Tier 1 methodologies, as there are no regional- or country-specific emission factors available for Colombia. Top-Down (TD) methodologies, based on national and regional energy use intensity, per capita consumption and fertilizer use, were developed and applied to estimate activities on the following categories: fuel use in industrial, commercial and residential sectors (excepting natural gas y liquefied petroleum gases), use of ozone depleting substances (ODS) and substitutes, and fertilizer use (for total emissions of agricultural soils). The emissions from the remaining 22 categories were calculated using *Bottom-Up* (BU) methodologies given the availability of regional information.

² The subsidiarity principle establishes that public matters should be tackled by the law, political or economic authority the closest to the issue.

It is expected that the developed and applied methodologies, and the systematic compilation of the gathered information, will facilitate the development of GHG inventories for other regions of Colombia.

Key words:

Bogota; Cundinamarca; Greenhouse gases; Emission inventory; Bottom-up estimation; Top-down estimation; Uncertainty analysis; Source category; By sector disaggregation.

Contenido

Resumen V

Introducción.....	XII
1. Región Cundinamarca Bogotá.....	16
2. Marco teórico.....	19
2.1. Balance y forzamiento radiativo, efecto invernadero y sensibilidad climática.....	19
2.2. Gases Efecto Invernadero	21
2.3. Potencial de Calentamiento Global.....	23
2.4. Inventario de emisiones de GEI	23
2.5. Metodología IPCC, 1996.....	25
2.6. Incertidumbre en los inventarios de emisión GEI.....	32
2.7. Emisiones GEI en Colombia	35
3. Metodología.....	38
4. Resultados y discusión de resultados	52
4.1. Resultados totales.....	52
4.2. Resultados módulo de energía	56
4.3. Resultados módulo de procesos industriales.....	62
4.4. Resultados módulo de agricultura.....	64
4.5. Resultados módulo de residuos.....	66
4.6. Inventario emisiones GEI SDA 2008.....	69
4.7. Sectores estratégicos para la reducción de emisiones en Cundinamarca y Bogotá ..	70
4.8. Resultados incertidumbre	74
5. Conclusiones	77
Referencias	80
Anexo A: Potencial de Calentamiento Global - Global Warming Potential	84
Anexo B: Hojas de cálculo del inventario de emisiones GEI en Cundinamarca – Bogotá.....	87
Anexo C: Factores de emisión	88
Anexo D: Emisiones GEI por consumo de combustibles en el sector industrial manufacturero- metodología <i>Bottom-Up</i>	93
Anexo E: Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria-UMATAS seleccionadas para envío de encuestas sector agropecuario.	101
Anexo F consolidado de las respuestas a las encuestas realizadas las UMATAS.....	102
Anexo G: Lecciones aprendidas en la elaboración del inventario.....	103

Lista de tablas

Tabla 2.1. Potencial de calentamiento global de los principales GEI.....	23
Tabla 2.2. Resultados de emisiones GEI en CO ₂ equivalentes por categoría de fuente, Colombia año 2004.	37
Tabla 4.1. Resultados de emisiones GEI para Bogotá y Cundinamarca	53

Lista de figuras

Figura 1.1. Participación porcentual del PIB Nacional año 2010, provisional, base 2005	17
Figura 1.2. Participación por grandes ramas de Actividad económica en Bogotá, año 2010	17
Figura 1.3. Sectores que aportan al PIB de Cundinamarca	18
Figura 2.1. Categorías Módulo de Energía.	28
Figura 2.2. Categorías Módulo de Procesos Industriales.	29
Figura 2.3. Categorías Módulo de Agricultura.....	30
Figura 2.4. Categorías Módulo de Uso y Cambio en el Uso de la tierra y Silvicultura.	31
Figura 2.5. Categorías Módulo de Residuos.....	32
Figura 2.6. Emisiones totales GEI en CO ₂ equivalente por modulo.....	35
Figura 3.1. Actividades generales desarrolladas en la elaboración del Inventario	39
Figura 4.1. Participación por módulo sobre el total de emisiones en Gg de CO ₂ equivalente para Bogotá y Cundinamarca.	52
Figura 4.2. Contribución de cada GEI en cada módulo para Cundinamarca	55
Figura 4.3. Contribución de cada GEI en cada módulo para Bogotá.....	56
Figura 4.4. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Energía en Cundinamarca	57
Figura 4.5. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Energía en Bogotá	59
Figura 4.6. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Procesos Industriales	62
Figura 4.7. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Agricultura	64
Figura 4.8. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Residuos.....	66
Figura 4.9. Diagrama pareto resultado emisiones Cundinamarca	72
Figura 4.10. Diagrama pareto resultado emisiones Bogotá	73
Figura 4.11. Contribución de incertidumbre por categoría de fuente Cundinamarca.....	74
Figura 4.12. Contribución de incertidumbre por categoría de fuente Bogotá.....	75

Introducción

El cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible, por cuanto representa efectos negativos sobre sus tres pilares: social, económico y ambiental. El origen del cambio climático está altamente vinculado a actividades humanas que ocasionan aumento en la concentración atmosférica de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el primer informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio climático (IPCC) (IPCC, 2001), se confirmó la existencia y peligrosidad del cambio climático como fenómeno global, y como fruto de un proceso internacional de negociación, se aprobó en 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual busca armonizar esfuerzos intergubernamentales encaminados a enfrentar el desafío del cambio climático. Posteriormente, en 1997 se adoptó el Protocolo de Kyoto con el fin de establecer compromisos más firmes y detallados para los países industrializados orientados a la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera.

La CMNUCC busca la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera a un nivel que reduzca los efectos peligrosos en el sistema climático, estableciendo compromisos tanto para países desarrollados como en vía de desarrollo en materia de estudio del fenómeno, análisis de vulnerabilidad, estrategias de adaptabilidad y opciones de mitigación. El Protocolo de Kyoto busca desarrollar los objetivos de la CMNUCC estableciendo metas de reducción de emisiones GEI cuantificadas para los países industrializados a través de tres mecanismos de flexibilidad: 1) comercio de emisiones, 2) implementación conjunta y 3) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). El MDL permite la ejecución de proyectos de reducción de emisiones en el territorio de países que no tienen compromisos de reducción de emisiones bajo el protocolo (no Anexo I).

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos y compromisos de estos dos acuerdos internacionales, los países firmantes han adelantado acciones en torno al cambio climático: a) la generación de información sobre las emisiones de GEI; b) establecimiento de políticas y prácticas (óptimas) en materia de reducción de emisiones; c) puesta en marcha de estrategias nacionales para adaptación a los efectos previstos del cambio climático. Los actores principales de los acuerdos son los gobiernos nacionales.

Recientemente, diferentes organizaciones internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han reconocido la importancia de apoyar, según el principio de subsidiaridad³, niveles sub- nacionales, regionales y municipales, de decisión en materia de gobernabilidad climática, teniendo en cuenta que las autoridades regionales y locales tienen a su cargo responsabilidades en materia de reglamentación y ordenación del territorio de muchos sectores

³ El principio de subsidiariedad, en su definición más amplia, dispone que un asunto debe ser resuelto por la autoridad (normativa, política o económica) más próxima al objeto del problema.

emisores de GEI y/o vulnerables al impacto climático (servicios básicos, transporte, construcción, entre otros), y que por su proximidad con la población favorecen los procesos de búsqueda de compromisos, sensibilización y educación con los ciudadanos (PNUD, 2009).

Adicionalmente, en la actualidad, la comunidad internacional está poniendo a prueba una serie de políticas públicas, nuevos instrumentos de mercado y mecanismos financieros innovadores para atraer e impulsar la inversión directa hacia tecnologías y prácticas bajas en carbono y con mayor resistencia al clima; y para que países en vía de desarrollo mejoren sus posibilidades de aprovechar estas nuevas fuentes, requieren establecer un entorno favorable (por ejemplo, políticas públicas, instituciones, recursos humanos), bajo un enfoque más sistemático y estratégico, que integre la mitigación y la adaptación al cambio climático a una profunda planificación de los procesos de desarrollo territorial (PNUD, 2009).

Es así como además de las políticas climáticas integradas elaboradas por regiones y estados regionales de países industrializados (ARPA, 2009; UNIVERSITY OF MANCHESTER, 2008), las regiones de países en vía de desarrollo también han adelantado estrategias para abordar el tema de cambio climático, por ejemplo, la Provincia de Western Cape (Sudáfrica) y el estado de San Pablo (Brasil) son los primeros en realizar la planificación integrada del cambio climático a nivel sub-nacional (PNUD, 200).

En Colombia, se identifican dos iniciativas recientes que son compatibles con este enfoque de integración del cambio climático a nivel regional y local: la conformación de nodos regionales de cambio climático y el proyecto “Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital PRICC (Bogotá - Cundinamarca)”. Los nodos regionales de cambio climático son una iniciativa del Grupo de del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) con apoyo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARS), entre otras. Con esta propuesta se busca conformar y consolidar 8 nodos regionales con el fin de facilitar el desarrollo y coordinación interinstitucional a nivel regional de acciones de adaptación, mitigación, gestión del riesgo y ordenamiento territorial. Cada nodo está conformado por las corporaciones ambientales territoriales y por las autoridades de los grandes centros urbanos del país.

El proyecto Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital (PRICC) (Bogotá – Cundinamarca), es un piloto de una iniciativa internacional denominada: “Hacia territorios con menos emisiones de gases de efecto invernadero y más resistentes al cambio climático”, cuyos socios y gestores son el PNUD, el PNUMA, diferentes estados nacionales como socios implementadores y ocho asociaciones de regiones del mundo: nrg4SD⁴, el Northern Forum, la Asociación Internacional de Regiones Francófonas, la Organización Latino-Americana de Gobiernos Intermedios, la Asamblea Europea de Regiones, la Conferencia de Regiones Periféricas Marítimas de Europa y el Climate Group). El objetivo de esta iniciativa es ayudar a las autoridades sub-nacionales de cincuenta regiones del mundo en todo el proceso de diseño de sus Planes Climáticos Territoriales Integrados (ITCP), desde el establecimiento de los

⁴ La red nrg4SD está constituida por algunos de los gobiernos regionales que acudieron a la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo, para compartir experiencias a escala regional

objetivos y los acuerdos de participación para la elaboración del plan, hasta el financiamiento de las actividades prioritarias.

A la fecha, los nodos regionales de cambio climático están en proceso de conformación y definición de objetivos y plan de trabajo. La presente investigación hace parte del proyecto PRICC (Bogotá – Cundinamarca), el cual inició actividades en mayo del 2011. Dentro del plan de trabajo 2011-2013 se consideran aspectos tales como el contexto regional frente a la variabilidad y al cambio climático, escenarios de emisiones de GEI y necesidades energéticas, evaluación de las vulnerabilidades climáticas y socioeconómicas, identificación de opciones de adaptación y mitigación, y la definición de plataforma de política e inversiones para la implementación de plan de acción de cambio climático.

Los objetivos perseguidos con la conformación de los nodos regionales de cambio climático y por el proyecto PRICC (Bogotá – Cundinamarca), están alineados con las iniciativas internacionales de llevar a la práctica el vínculo entre la gestión del territorio a nivel regional y los desafíos que representan el cambio climático para potenciar las oportunidades de nuevos enfoques y opciones de desarrollo; y dentro de los objetivos comunes propuestos en el marco de estos dos proyectos, está la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional.

En materia de mitigación, entendida esta en términos generales como la aplicación de políticas destinadas a reducir las emisiones de GEI y a potenciar los sumideros, se requiere cuantificar las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas y la toma de decisiones. En Colombia no se cuenta con información explícita sobre emisiones de GEI a escala regional y tampoco con una metodología concertada a nivel nacional para su cálculo.

A nivel nacional, el IDEAM ha producido inventarios de emisiones nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 siguiendo los procedimientos de estimación de emisiones y su incertidumbre, establecidos por el IPCC (IDEAM, 2010). Los resultados obtenidos corresponden a un total de emisiones GEI para el país. Para la mayoría de las fuentes, estas emisiones no están desagregadas regionalmente y la metodología empleada no permite realizar dicha desagregación (IDEAM, 2010). Aunque existen reportes de inventarios de emisiones de GEI en regiones urbanas, tales como Bogotá y Montería,⁵ y la inclusión de algunos GEI en inventarios de emisión de contaminantes de criterio, tales como el inventario de Cundinamarca, estas estimaciones de emisiones no han sido desarrolladas bajo una metodología unificada y avalada a nivel nacional, lo que dificulta su comparación con los inventarios nacionales.

Por lo tanto, se identifica la necesidad de establecer metodologías para la realización de inventarios de emisiones GEI regionales, y adicionalmente teniendo en cuenta los objetivos del PRICC y dada su importancia como piloto a nivel nacional, es necesario y urgente, contar con información certera sobre emisiones GEI en la región desagregadas sectorialmente.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, surge la propuesta de realizar el inventario de emisiones GEI para la región Bogotá – Cundinamarca, en el marco del PRICC como un

⁵ Información suministrada por funcionarios del IDEAM

inventario regional demostrativo, buscando dar respuesta a los interrogantes de cuáles son las aproximaciones metodológicas requeridas para la regionalización de inventarios de emisiones GEI y cuál es la contribución de emisiones GEI por sectores en la región Bogotá – Cundinamarca.

El objetivo general propuesto es elaborar y analizar el inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para la región Cundinamarca – Bogotá en el marco del proyecto Plan Regional Integrado de Cambio Climático (PRICC), de forma concertada con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Como marco metodológico general se emplearon las guías para la elaboración de inventarios de emisiones y sumideros de GEI del IPCC que comprenden las directrices de 1996, las buenas prácticas en la elaboración de los inventarios (versión 2000 y 2003) y las directrices del 2006 (IPCC, 2006). Estas metodologías se basan en cálculo de emisiones a partir de datos de actividad y factores de emisión por defecto o propios para cada país o región.

En el capítulo 3 de este documento se realiza la descripción de la metodología empleada, incluyendo una descripción detallada del cálculo realizado en cada categoría de fuentes de emisión GEI identificada para Cundinamarca y Bogotá. En el capítulo 4 se presentan y discuten los resultados obtenidos, incluyendo un análisis de la distribución sectorial de emisiones y de la incertidumbre de las estimaciones de emisiones. En el capítulo 5 se presentan conclusiones y recomendaciones.

1. Región Cundinamarca Bogotá

El inventario de emisiones GEI se efectuó para la región conformada por el Departamento de Cundinamarca y el Distrito Capital Bogotá. Esta región está ubicada en la región Andina, en la zona centro del país. Según estudio de la Cámara de Comercio de Bogotá; en Colombia, *“Bogotá es la ciudad más competitiva y con Cundinamarca conforman la región líder. El liderazgo de Bogotá se fundamenta en la fortaleza de su economía, el tamaño del mercado, el aumento de las exportaciones, la dinámica de las actividades de servicios y la presencia de un sector financiero fuerte; además, muestra indicadores favorables en sus condiciones sociales con menores niveles de pobreza frente a otros departamentos del país. También es la región más fuerte en ciencia y tecnología, en infraestructura de servicios a las empresas y para los negocios, especialmente en telecomunicaciones, y con un capital humano altamente capacitado. Cundinamarca se ubica en séptimo lugar en un nivel de competitividad alto, y su mayor fortaleza es la internacionalización de su economía”*. También es importante señalar que *“Bogotá es el principal centro urbano de Colombia, con el 16% (7,3 millones) de la población de Colombia y junto con Cundinamarca el 22% con un total de 9,8 millones”* (CCB, 2010, DANE 2005).

Bogotá D.C. está bordeada al este por una cadena montañosa en la cordillera Oriental de los Andes. Los cerros determinaron su crecimiento de sur a norte, paralelo a los montes de Guadalupe y Monserrate. El límite occidental de la ciudad es el río Bogotá; el del sur, el páramo de Sumapaz, y al norte la Sabana hasta Chía y Sopó. Cuenta con un área superficial de aproximadamente 5000 m² y tiene una longitud de 33 km. de sur a norte, y 16 km. de oriente a occidente, está conformada por 20 localidades, 19 de ellas de carácter urbano. Las localidades de la ciudad de Bogotá son: Kennedy, Suba, Engativá, Bosa, San Cristóbal, Usaquén, Chapinero, Santa Fé, Usme, Tunjuelito, Fontibón, Barrios Unidos, Teusaquillo, Los Mártires, Antonio Nariño, Puente Aranda, La Candelaria, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar (SINIC, 2010).

La economía de Bogotá está basada principalmente en la industria, el comercio y los servicios financieros y empresariales. Para el año 2010 el PIB total Nacional fue de \$543.747 miles de millones de pesos. En este año Bogotá participó con el 25,4%, seguido de Antioquia, Valle del Cauca, Santander, Cundinamarca y Meta, como se observa en el Gráfico 1. Estos representan el 65,1% de la economía nacional. En 2009, el PIB total fue de \$504.647 miles de millones de pesos, en donde Bogotá participó con el 26,0%, seguido de Antioquia, Valle del Cauca, Santander, Cundinamarca y Atlántico; los cuales representaron el 65,5% del PIB de Colombia (DANE, 2011).

En Bogotá, las actividades de mayor participación dentro del PIB son los establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas que representan el 34,7%. Dentro de éstos, los servicios inmobiliarios participan con 15,1%; los servicios sociales, comunales y personales participan con 19,2%; comercio, reparación, restaurantes y hoteles con

15,7% y la industria manufacturera con 12,7%. Por su parte, las actividades de menor participación son la explotación de minas y canteras con 0,2%, y agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca 0,0%. (DANE, 2011).

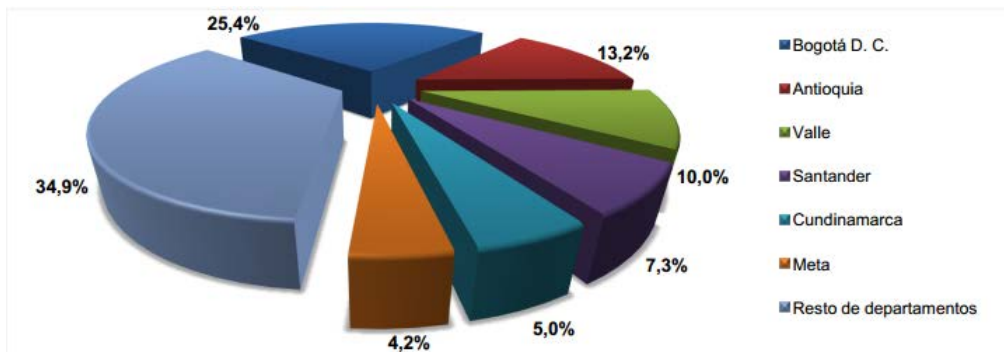


Figura 1.1. Participación porcentual del PIB Nacional año 2010, provisional, base 2005 (Fuente: DANE – Dirección de Síntesis y cuentas nacionales)

El departamento de Cundinamarca tiene una extensión aproximada de 24.210 km². Limita por el norte con el departamento de Boyacá, por el sur con el Huila, Meta y Tolima, por el occidente con Tolima y Caldas, y por el oriente con Casanare. Consta de 15 provincias dentro de las cuales se ubican 116 municipios junto con la ciudad de Bogotá DC, la cual es su capital, pero sin tener jurisdicción por parte del gobernador ni de la asamblea departamental (Gobernación Cundinamarca, 2012).

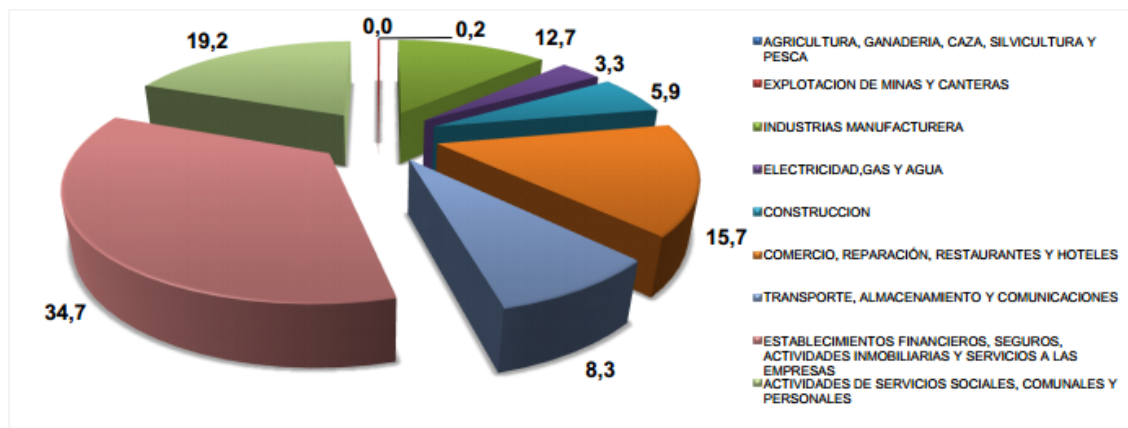


Figura 1.2. Participación por grandes ramas de Actividad económica en Bogotá, año 2010 (Fuente: DANE4 – Dirección de Síntesis y cuentas nacionales)

Cundinamarca aporta cerca del 5.23% del PIB nacional, siendo la quinta región en importancia en la economía colombiana. Dentro de las actividades que más aportan al PIB departamental se encuentran: la industria manufacturera, el sector agropecuario, la administración pública, los servicios de electricidad, gas y agua, y las actividades de comercio al por mayor. El sector agrícola participó con un 76,2% del total del sector agropecuario. El 34.4% de la población

realiza actividades agropecuarias de las cuales el 9.2% se dedica a actividades agrícolas, el 72% a pecuarias, 15.8% a bosques y el 2.9% a otras. La actividad agrícola más representativa es la floricultura con un 58.4%; las legumbres, raíces y tubérculos con un 22.5% de participación y los frutales con un 8.3%. Dentro de las actividades pecuarias las más importantes son: explotación bovina con 78.5% y la explotación avícola con 15.3%. (Secretaría de Planeación de Cundinamarca, 2011).

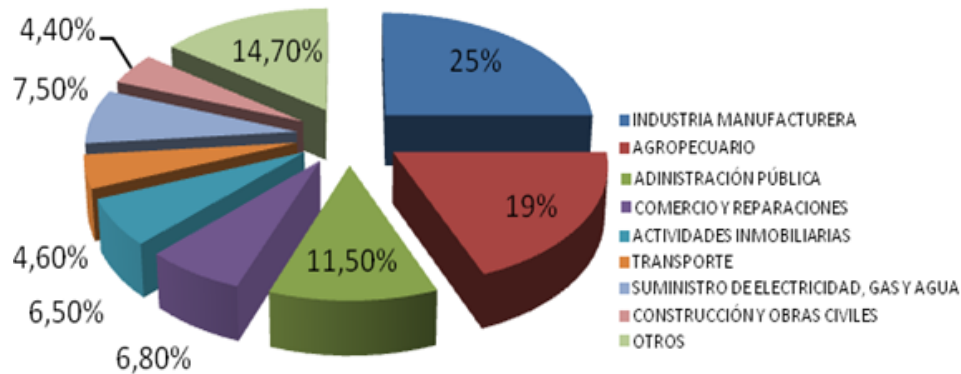


Figura 1.3. Sectores que aportan al PIB de Cundinamarca

(Fuente: Secretaría de Planeación de Cundinamarca, Estadísticas de Cundinamarca 2010)

2. Marco teórico

2.1. Balance y forzamiento radiativo, efecto invernadero y sensibilidad climática

Un forzamiento radiativo es un cambio (perturbación) impuesto en el equilibrio radiativo de la tierra. Se pueden mencionar como causas el incremento en la concentración de compuestos radiativamente activos (por ejemplo CO₂, aerosoles), los cambios en la incidencia de la radiación solar en la tierra, las erupciones volcánicas y los cambios en las propiedades de reflexión de la superficie terrestre. El forzamiento radiativo se mide por el cambio en el flujo neto radiativo a un cierto nivel de la atmósfera donde se prevé que ocurrirá la respuesta a la perturbación. Es posible establecer diferentes definiciones de forzamiento radiativo dependiendo del nivel atmosférico en donde se establezca el cambio en el flujo neto y siempre y cuando el perfil de temperatura estratosférica pueda adaptarse a la perturbación. Una respuesta climática (*climate feedback*), es un proceso climático interno que, dado un forzamiento inicial, puede ampliar o disminuir la respuesta climática. Como ejemplo de respuesta climática se puede citar el incremento del vapor de agua en la atmósfera como resultado del calentamiento generado por el incremento en los niveles de gases de efecto invernadero. Este vapor a su vez influye en el calentamiento ya que, de por sí, el vapor de agua es considerado un gas de efecto invernadero (SEINFELD, *et al.*, 2006).

Los forzamientos radiativos *directos* afectan directamente el equilibrio radiativo de la tierra. Por ejemplo, el aumento de CO₂ aumenta la radiación infraroja. Los forzamientos *indirectos* llevan a un desequilibrio radiativo alterando primero algún componente del sistema climático que a su vez conlleva a un cambio en los flujos radiativos. Un ejemplo de un forzamiento indirecto es el incremento en los niveles de aerosol que produce nubes con gotas más pequeñas las que a su vez son menos propensas a producir precipitaciones, por lo que las nubes pueden persistir mayor tiempo reflejando y absorbiendo mayor radiación (SEINFELD, *et al.*, 2006).

El *forzamiento radiativo ajustado*, que es la medida comúnmente usada en la actualidad, se define como el forzamiento radiativo en la parte superior de la atmósfera (TOA) en donde el perfil de temperatura estratosférica permite adaptarse a la perturbación, estableciendo de esta manera la temperatura troposférica en un valor fijo. La explicación para el uso del forzamiento ajustado se debe a que la temperatura estratosférica, como respuesta a una perturbación, tiende a un nuevo equilibrio en tan solo algunos meses; no ocurriendo lo mismo con la temperatura troposférica, la cual requiere décadas para llegar a un nuevo equilibrio. De esta manera, el forzamiento ajustado es una mejor medida de la respuesta esperada del clima a los forzamientos que persisten por varios meses (SEINFELD, *et al.*, 2006).

Diferencias entre la respuesta de la temperatura superficial sin feedback, ΔT_0 , y la respuesta de equilibrio final, ΔT_s : ΔT_0 tiende a ser directamente proporcional al forzamiento ajustado. Esta proporcionalidad proporciona la base para usar el forzamiento ajustado como una medida de la respuesta climática esperada a la perturbación. De la misma manera, esta proporcionalidad asume que la tasa de desaparición en la tropósfera es fija (y en la estratósfera es determinada por el equilibrio radiativo). Finalmente, el punto está en conocer cuándo ΔT_s es proporcional al forzamiento ajustado, cuando la tasa de desaparición troposférica permite cambiar como respuesta a los feedbacks climáticos. Tales feedbacks incluyen cambios en las nubes y precipitaciones (SEINFELD, *et al.*, 2006).

La utilidad de los forzamientos radiativos se basa en la asunción de que el cambio en la temperatura media superficial de la tierra es proporcional a las medias de forzamiento globales anuales. La superficie y la tropósfera están fuertemente relacionadas por procesos de transferencia de calor convectivos; por procesos de movimientos verticales de aire. El perfil de temperatura vertical dentro de la tropósfera (la tasa de reducción) está determinada mayormente por su transferencia vertical convectiva de calor mientras que verticalmente el promedio de la temperatura superficie-troposfera es regulado por el equilibrio radiativo en la troposfera. Modelos climáticos predicen una relación aproximadamente lineal entre el forzamiento radiativo global medio ΔF y el cambio en la temperatura media superficial global (SEINFELD, *et al.*, 2006).

$$\Delta T_s = \lambda \Delta F$$

En donde λ es el parámetro de sensibilidad climática. Todos los procesos de respuesta climática implícitamente están incluidos en λ .

El incremento en la concentración de los GEI en la atmósfera es uno de las principales causas de forzamiento radiativo. Los GEI reducen la pérdida neta de radiación infrarroja hacia el espacio y tienen poco impacto en la absorción de la radiación solar, lo que hace que la temperatura de la superficie sea más cálida y produce el denominado “efecto invernadero”. La Tierra está expuesta a un efecto invernadero de forma natural, especialmente en la tropósfera, debido al balance radiativo entre su superficie y la atmósfera que la rodea gracias a las sustancias de efecto invernadero que naturalmente se encuentran en ella (vapor de agua H_2O , Dióxido de Carbono CO_2 , Metano CH_4 , Óxido Nitroso N_2O), sin embargo, tanto la variación en la concentración en la atmósfera de algunas de estas sustancias como la emisión de las sustancias sintéticas de efecto invernadero (Hexafluoruro de Azufre SF_6 , hidroclorofluorocarbonos HFCs, perfluorocarbonos PFCs) debido a la actividad humana alteran este efecto invernadero, incrementándolo de manera significativa de acuerdo al IPCC, más aun si se tiene en cuenta el elevado potencial de calentamiento global de estas sustancias (IDEAM, 2007).

El clima se define como el estado medio del tiempo en la tropósfera (IDEAM, 2007), como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años. El período normal es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y este estado medio del tiempo está íntimamente relacionado con el efecto invernadero

producido por las sustancias presentes en la tropósfera entre otros elementos, y debido a que las cantidades de estas sustancias están siendo modificadas de manera significativa por la actividad humana, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), define el Cambio Climático como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Naciones Unidas, 1992).

2.2. Gases Efecto Invernadero

Todas las sustancias absorben radiación en determinadas longitudes que onda en función a los orbitales en donde se ubican los electrones de los elementos que los componen; así mismo los enlaces covalentes de los componentes gaseosos de la atmosfera denominados Gases de Efecto Invernadero GEI, les permiten absorber radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (IDEAM, 2007). De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, las principales sustancias de efecto invernadero presentes en la atmósfera son el vapor de agua (H_2O), el ozono (O_3), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Estos gases se clasifican en GEI directos e indirectos (IPCC, 2007):

GEI Directos: Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados. (IDEAM, 2007)

GEI Indirectos: Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono. (IDEAM, 2007).

Los principales GEI directos son:

Dióxido de Carbono (CO_2): El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. En relación a las actividades humanas el CO_2 se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques y por algunos procesos industriales como la fabricación del cemento. (IDEAM, 2007)

Metano (CH_4): El metano es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilo (OH) convirtiéndose finalmente en CO_2 . La fuente más importante de metano es la descomposición de materia orgánica en sistemas biológicos: 1. Las actividades agrícolas relacionadas con: a) fermentación entérica como consecuencia del proceso digestivo

de los herbívoros; b) descomposición en condiciones anaerobias (sin oxígeno) del estiércol generado por especies pecuarias; c) cultivos de arroz bajo riego y d) quemadas de sabanas y residuos agrícolas. 2. Disposición de residuos sólidos. 3. El tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales. Otra fuente importante de metano está relacionada con la producción y distribución de gas natural y petróleo y en la explotación de carbón mineral. (IDEAM, 2007)

Oxido Nitroso (N_2O): Sus fuentes son de carácter natural y antropogénico, e incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa y la agricultura. El óxido nitroso es inerte en la troposfera. Su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico. La fuente más importante de óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por el consumo de combustibles fósiles para generar energía y las emitidas por descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas. Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes. (IDEAM, 2007)

Compuestos Halogenados: Los halocarbonos tienen efectos sobre el forzamiento radiativo tanto directos como indirectos. Los clorofluorocarbonos (CFCs), los cuales incluyen el CFC11 ($CFCl_3$) y el CFC12 (CF_2Cl_2) son una familia de compuestos que no existen naturalmente en el ambiente. Desde que empezó su fabricación a principios de la década de los 30's, los CFCs han sido utilizados como gases refrigerantes, como solventes en aplicaciones industriales y en la limpieza en seco y como propulsor en los recipientes de aerosoles. Estos compuestos halogenados son poco reactivos en la troposfera, pero en la estratosfera pierden los átomos de cloro y bromo (a través de procesos fotoquímicos) y posteriormente destruyen catalíticamente el ozono. Estos compuestos también contribuyen al forzamiento del efecto invernadero. La producción de los CFCs ha sido prohibida por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas. (IDEAM, 2007)

Los Hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) no destruyen la capa de ozono y no están cubiertos dentro del Protocolo de Montreal, sin embargo, estos son poderosos GEIs. Los HFCs fueron inicialmente usados para reemplazar algunas Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) pero también es emitido como un subproducto en la manufactura del HCFC-22. Los PFCs y el SF_6 son emitidos a partir de varios procesos industriales como son: la fundición del aluminio, la fabricación de semiconductores y la transmisión y distribución de energía eléctrica. (IDEAM, 2007)

Los CFC, HCFC, HFC y los perfluorocarbonos (PFC, compuestos que solo tienen átomos de carbono y fluor y están caracterizados por tener una alta estabilidad, baja toxicidad y un Potencial de Agotamiento de Ozono-ODP de cero) son buenos absorbentes de radiación infrarroja, en parte, porque muchos de ellos absorben energía en la región de longitudes de onda donde la energía no es absorbida por el dióxido de carbono ni el vapor de agua. (IDEAM, 2007).

2.3. Potencial de Calentamiento Global

El concepto de un índice relativo de forzamiento global fue creado para ubicar a varios GEI en una escala común. Los factores de los cuales dependen estos índices son: 1) La fuerza con la que una determinada especie absorbe la radiación infrarroja y la ubicación de sus longitudes de onda de absorción espectral y 2) la vida atmosférica (o tiempo de respuesta) de las especies en la atmósfera (SEINFELD, *et al.*, 2006).

El potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés: Global Warming Potentials) es un indicador del efecto radiativo de una sustancia sobre un horizonte de tiempo escogido, teniendo como base al dióxido de carbono. El GWP es más alto para las especies que absorben mayor radiación o tienen grandes tiempos de vida media. El horizonte de tiempo escogido generalmente es de 100 años, queriendo representar el futuro impacto de la sustancia en los próximos 100 años. (IPCC, 2007). En el anexo 1 se presenta una tabla con el potencial de calentamiento global de los GEI. En la tabla siguiente se presentan los GWP empleados en la presente investigación, tomando como horizonte de tiempo 100 años.

Tabla 2.1. Potencial de calentamiento global de los principales GEI.

Industrial Designation or Common Name	Chemical Formula	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time
			Horizon (100-yr)
Carbon dioxide	CO ₂	1.4x10 ⁻⁵	1
Methane	CH ₄	3.7x10 ⁻⁴	21
Nitrous oxide	N ₂ O	3.03x10 ⁻³	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	0.16	1,300

Fuente: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis.

2.4. Inventario de emisiones de GEI

Un inventario de emisiones GEI es un procedimiento metodológico para cuantificar la cantidad de GEI que es liberada a la atmósfera debido a actividades antropogénicas, en un periodo de tiempo y territorio determinado (EPA, 2012). Dicha cuantificación puede llevarse a cabo mediante medición directa con equipos especializados en una campaña de monitoreo (o monitoreo continuo), o a través de metodologías de cálculo basadas en información del tamaño de la actividad de las fuentes de generación de emisiones y el factor de emisión de dichos gases por unidad de actividad y la fórmula general para estimar emisiones por este método es:

$$E = A \cdot EF$$

En donde E = Emisión, A = Dato de actividad, EF = Factor de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo basado en un balance de materia, que busca relacionar la cantidad de un gas (contaminante o GEI) emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho gas. Estos factores son usualmente expresados como el peso del gas dividido por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad emisora. Estos factores facilitan la estimación de emisiones de varias fuentes de contaminantes y GEI. En la mayoría de los casos los factores son simplemente promedios de todos los datos disponibles de aceptable calidad (EPA, 1994).

Para el cálculo de las emisiones totales de un territorio, región o país, se pueden aplicar dos enfoques diferentes: "*Top-Down*" y el "*Bottom-Up*" (EPA, 2006).

Bottom-Up - BU: este enfoque va de lo particular a lo general, e intenta calcular los valores en las escalas mayores como las contribuciones de las partes que lo componen, buscando que estas partes sean lo más específicas posibles (regiones, ciudades, barrios, sectores económicos, etc) e intentando encontrar los valores de actividad lo más ajustados posible a la realidad (número de automotores, kilómetros recorridos, número de cabezas de ganado, número de árboles, toneladas de productos producidos, etc).

$$E = \sum(E_k)$$

$$E_k = A_k * FE_k$$

Top-Down - TD: este enfoque va de lo general a lo particular, parte de datos generales que pueden ser incluso estadísticas internacionales, e intenta cuantificar los valores en escalas menores (regiones, ciudades, sectores económicos, subcategorías, etc), ya sean geográficas o económicas, por medio de comparaciones o proporciones respecto a los datos generales, por ejemplo, conociendo la cantidad de desechos nacionales que se generan, intentar inferir la cantidad de desechos generados en una región particular como proporcional a la fracción de población que tiene esa región respecto al total de población nacional, o del PIB regional respecto al PIB nacional, o internacional, etc.

$$E \cong E \text{ agregada} * F \text{ desagregación}$$

O se puede aplicar una metodología para desagregar los datos de actividad y el cálculo se realiza como en la metodología BU.

Cuando existe información suficiente, puede usarse ambos enfoques para corroborar la precisión de los cálculos realizados (DETLEF P, *et al.*, 2009), como se realizó en la Desagregación espacial de los datos del inventario GEI en África austral (FLEMING, *et al.*, 2004) y en el Protocolo para el inventario regional de GEI de los gobiernos locales del área de Sacramento – EEUU –, además el uso de ambos enfoques ayuda a comprobar que la información general existente (estadísticas nacionales e internacionales) refleja de una manera real las condiciones locales.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático – UNFCCC – CMNUCC, tiene como objetivo general lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la

atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y establece que todas las partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán: elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes (Naciones Unidas, 1992); para esto el IPCC ha desarrollado directrices para Elaboración de Inventarios Nacionales GEI, que deben ser empleadas por todos los países para reportar sus inventarios a la Convención.

Estos inventarios nacionales GEI se emplean para: Evaluar el progreso del logro de los objetivos de la Convención, opciones de mitigación, la efectividad de políticas y el desarrollo de metodologías; monitorear la implementación de la Convención y el Protocolo de Kioto; realizar proyecciones a largo plazo; proporcionar información de base para los mecanismos de transacción de emisiones y el trabajo sobre futuros compromisos (Gómez, 2012).

Los inventarios deben ser: Transparentes (metodología y suposiciones claras información replicable, facilitar la revisión), completos (todas las fuentes, todos los sumideros, todo el territorio, todos los gases), coherentes (todos los elementos internamente consistentes), comparables (estimación de emisiones y remociones comparables entre distintos países), precisos (las emisiones no están ni sobre ni subestimadas - disminución de incertidumbres) (Gómez, 2012).

2.5. Metodología IPCC, 1996

Las directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero versión revisada de 1996, se complementan con la Guía para Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbres en los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, con la Guía sobre Prácticas Óptimas para el uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura, y el Programa de Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del IPCC del 2003. Esos volúmenes presentan las metodologías sugeridas para la estimación de los GEI directos e indirectos como el bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano, halocarbonos, hexafluoruro de azufre y bióxido de azufre.

Según las directrices del IPCC, se debe cumplir con un conjunto de elementos para elaborar un inventario: establecer el año base para su desarrollo, lo que servirá para compararlo con otros y para observar el comportamiento en un cierto tiempo; los demás elementos son relativos a la construcción de información (IPCC, 1996):

- Hojas de cálculo, que son el espacio físico de estimación y cálculo de emisiones.
- Tablas de emisiones y absorciones anuales, con las unidades expresadas anualmente (masa/año).

- Contenido metodológico, que es la descripción de los procesos metodológicos por cada fuente, fuentes de datos (datos de actividad, factores de emisión) y, de ser posible, descripción de incertidumbre.
- Fuentes de información con datos históricos, base para construir el inventario.

El IPCC cuenta con un proceso transparente de documentación y preparación de datos estricto y exhaustivo, que permite contar con un estándar por categoría, el cual hace viable la comparación entre inventarios anuales, ya sea por categoría o por sector, y con el de otros estados y países.

Estas metodologías se basan en el empleo de factores de emisión para la estimación de emisiones. Los factores de emisión por defecto han sido desarrollados por el IPCC basados en las siguientes fuentes (IPCC, 2006):

- Default Emission Factors Handbook (European Environment Agency Task Force, Bouscaren, 1992).
- CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, volume 1: Methodology and Emission Factors (Eggleston et al., 1992).
- Atmospheric Emission Inventory Guidebook (Joint EMEP/CORINAIR, European Environment Agency, 1996).
- US EPA's Compilation of Air Pollutant Emissions Factors (AP-42), 4th Edition 1985, (US EPA, 1985a and 1985b), 5th Edition 1995 (US EPA, 1995) and Supplement F (US EPA, 1993b).
- EMEP and CORINAIR Emission Factors and Species Profiles for Organic Compounds (Veldt, 1991).
- The Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR 1995), version 2.0.

La propuesta metodológica del IPCC utiliza el nivel de complejidad de acuerdo con la disponibilidad de información local o específica para cada una de las subcategorías, sectores económicos o de zonas espaciales en que se desagrega el inventario; los tres niveles de complejidad metodológica son los siguientes (IPCC, 2006):

- El procedimiento de nivel 3 o Tier 3 es una evaluación rigurosa y detallada de la fuente, tipo “de la base a la cúspide” (*Bottom-Up*), que requiere de inventarios detallados de la infraestructura y de factores de emisión específicos, o bien la determinación de emisiones en la fuente.
- Los Tier 2 están basados en procedimientos como el balance de masa y factores de emisión de procesos específicos para el país o región de estudio.
- Finalmente, el procedimiento Tier 1 es el menos detallado, utiliza factores de emisión por defecto tomados de la literatura y en algunos casos datos de actividad también tomados de fuentes internacionales, generalmente con un amplio rango e incertidumbre elevada, e información general del sector que produce las emisiones.

La elección de nivel se realizará por medio de un árbol de decisión, el cual indicará los métodos de estimación apropiados a las circunstancias nacionales, que se encuentran en las Guías de las Buenas Prácticas para cada sector estimado en el inventario.

El procedimiento metodológico final aplicado para la estimación y el análisis con base en el comportamiento de los GEI por sector es el siguiente (IPCC, 1996):

- Estimación de los GEI.
- Determinación de las emisiones de los GEI directos en CO₂ equivalente para cada sector.
- Sumar las emisiones de los sectores en unidades de CO₂ equivalente.
- Cálculo de la incertidumbre de los resultados.

Las directrices revisadas del IPCC de 1996 dividen el análisis de las emisiones de GEI en cinco categorías:

1. Energía: Emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles (transporte y de fuentes fijas), y emisiones fugitivas de metano por las minas de carbón y la producción de petróleo y gas.
2. Procesos industriales: Emisiones resultantes por fabricación de productos (cemento, acero, químicos, etc.).
3. Agricultura: Emisiones de metano y óxido nitroso provenientes de las actividades agropecuarias.
4. Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura. Emisiones y captura de CO₂ por estas actividades.
5. Desechos. Emisiones de metano y CO₂ por la disposición en vertederos de relleno sanitario, en aguas residuales e incineración de los desechos industriales y hospitalarios.

Módulo de Energía

En el módulo de energía se contabilizan las emisiones de GEI generadas por quema de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas generadas en las actividades de petróleo, gas y carbón mineral.

Para los fines del inventario, según directrices IPCC, la quema del combustible puede definirse como la oxidación intencional del combustible dentro de un aparato diseñado para suministrar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para utilizar fuera del aparato. Esta oxidación es un proceso en el que los componentes de un combustible, principalmente el carbono, hidrógeno y azufre, reaccionan con un comburente (comúnmente oxígeno) y se oxidan liberando energía utilizable, dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), cuando la combustión es completa. Cuando la combustión es incompleta, es decir, cuando parte del combustible no ha sido oxidado, se liberan además, otros compuestos como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de azufre (SO₂), carbono (C) e hidrógeno (H).

Las emisiones fugitivas, son los gases liberados a la atmósfera de forma imprevista o deliberadamente, en actividades antropogénicas; particularmente de la producción,

procesamiento, transformación, almacenamiento y uso de combustibles. Las emisiones más significativas de gases de efecto invernadero en esta categoría, son las emisiones de metano. También se emiten otros gases tales como CO₂ y COVDM. Las Directrices del IPCC distinguen dos (2) subcategorías para las emisiones fugitivas: Emisiones generadas por la minería y manejo del carbón y emisiones generadas por actividades del petróleo y gas natural.

En la figura 2.1 se presentan los sectores a tener en cuenta en el módulo de Energía, según las guías del IPCC:

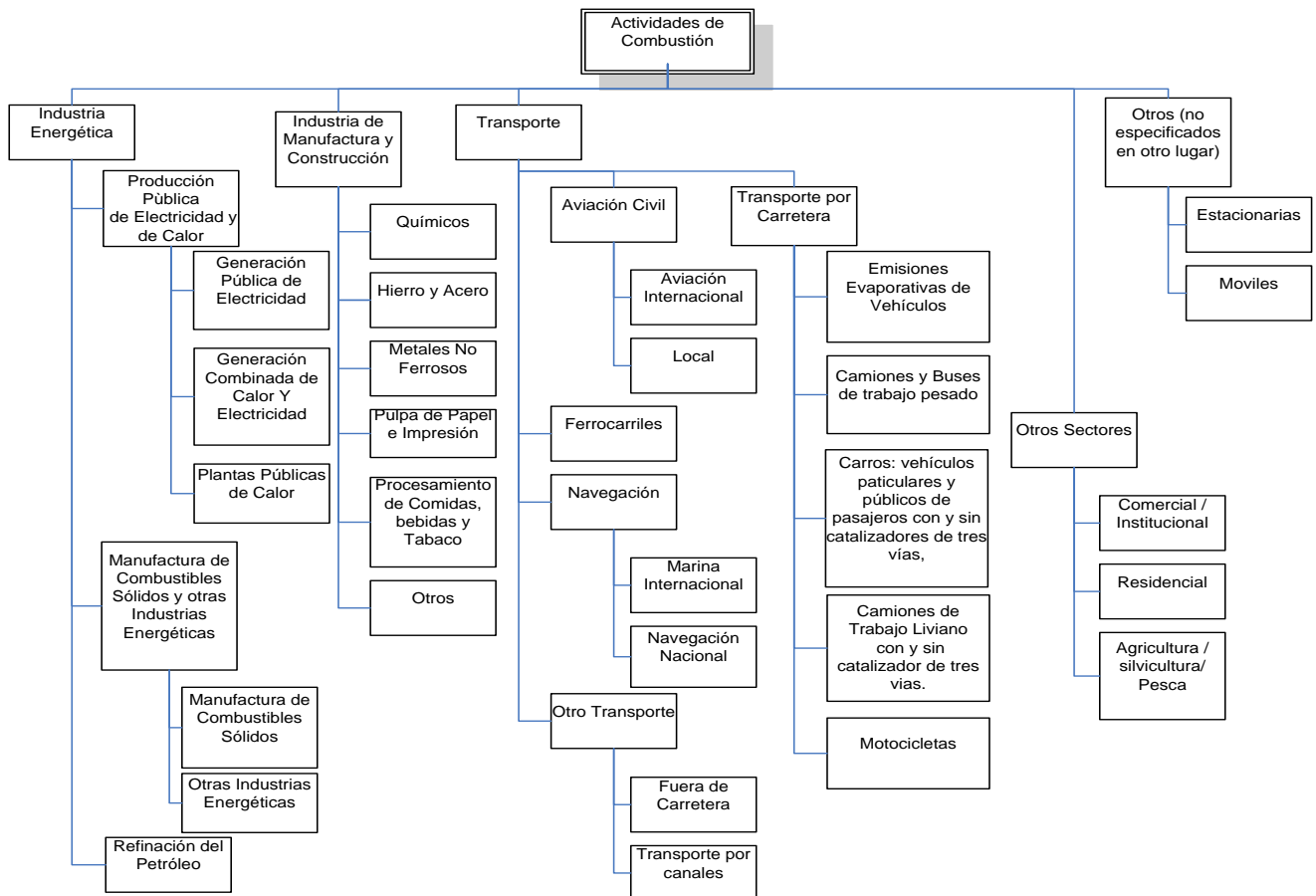


Figura 2.1. Categorías Módulo de Energía.

Elaboración propia, información IPCC Guías para Elaboración de Inventarios Nacionales de emisiones GEI 1996

Módulo de Procesos Industriales

En este módulo se abordan las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por los procesos industriales y por el uso de gases de efecto invernadero en los productos.

Las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos industriales que transforman materias por medios químicos o físicos; por ejemplo, los altos hornos de la industria del hierro y el acero, el amoníaco y otros productos químicos fabricados a partir de

combustibles fósiles utilizados como sustancia química intermedia y la industria del cemento: estos son ejemplos notorios de procesos industriales que liberan cantidades significativas de CO₂. Durante estos procesos puede producirse una gran variedad de gases de efecto invernadero, incluidos el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Además, con frecuencia se utilizan los GEI en productos tales como refrigeradores, espumas o latas de aerosol. Por ejemplo, se usan los HFC como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono en variados tipos de aplicaciones de productos. Análogamente, se emplean el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el óxido nitroso (N₂O) en una serie de productos utilizados por la industria (p. ej., el SF₆ utilizado en las instalaciones eléctricas y el N₂O utilizado como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria de la alimentación) o por los consumidores finales (p. ej., el SF₆ utilizado en el calzado deportivo y el N₂O utilizado durante la anestesia). Una característica notable del uso de estos productos es que en casi todos los casos puede transcurrir un tiempo significativo entre la fabricación del producto y la liberación del gas de efecto invernadero. El retardo puede variar desde pocas semanas (p. ej., las latas de aerosol) hasta varios decenios, como es el caso de las espumas rígidas (IPCC, 1996)

Las categorías principales consideradas dentro de este módulo son:

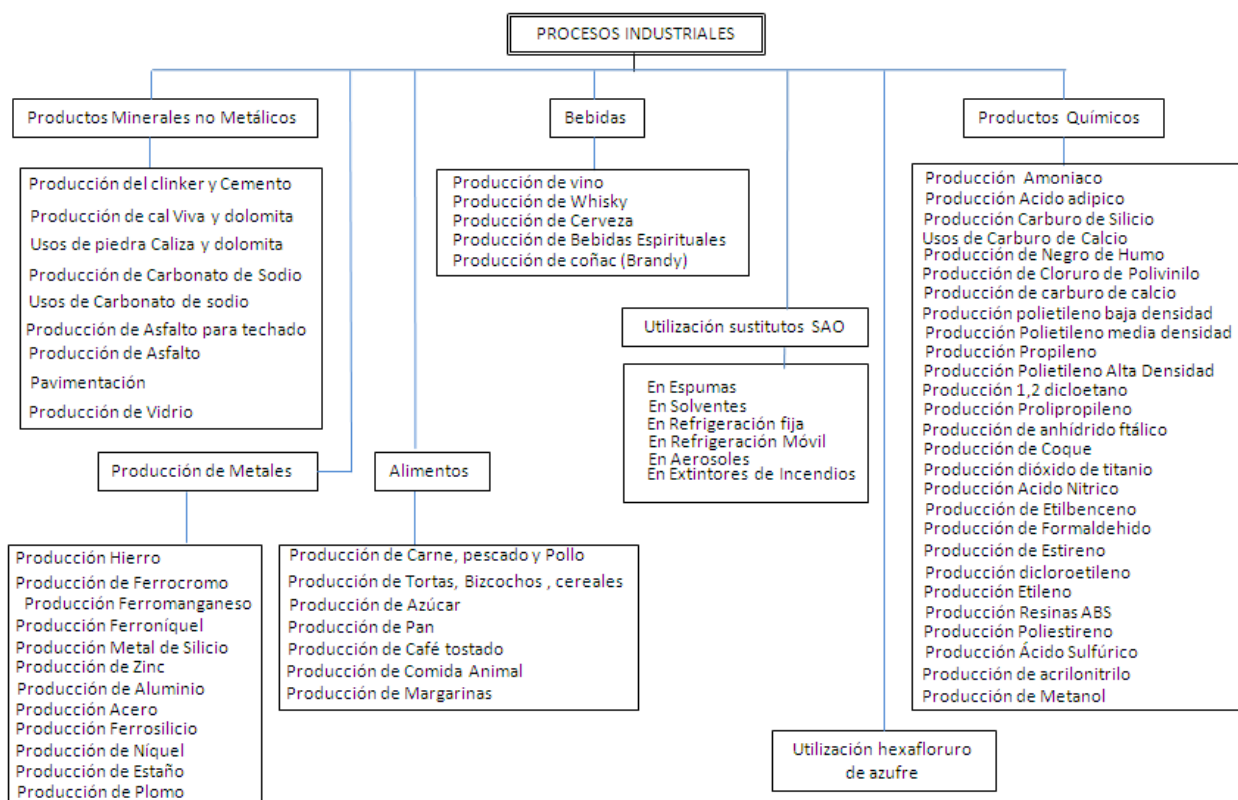


Figura 2.2. Categorías Módulo de Procesos Industriales.

Elaboración propia, información IPCC Guías para Elaboración de Inventarios Nacionales de emisiones GEI 1996

Módulo de Agricultura

En este módulo se contabilizan las emisiones de metano y óxido nitroso provenientes de las actividades agropecuarias, teniendo en cuenta las siguientes categorías:

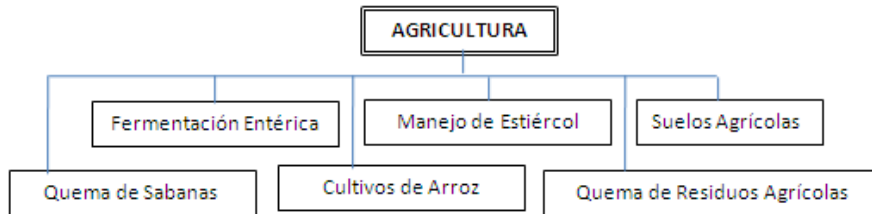


Figura 2.3. Categorías Módulo de Agricultura.

Elaboración propia, información IPCC Guías para Elaboración de Inventarios Nacionales de emisiones GEI 1996

El CH_4 procedente de la fermentación entérica en los herbívoros es una consecuencia del proceso digestivo durante el cual los hidratos de carbono se descomponen por acción de microorganismos, en moléculas simples que se absorben en el torrente sanguíneo. El CH_4 procedente del manejo del estiércol obedece a su descomposición en condiciones anaeróbicas; el estiércol del ganado está compuesto principalmente por materia orgánica que al descomponerse en ausencia de oxígeno y bajo la acción de poblaciones de microorganismos (bacterias metanogénicas) produce CH_4 . De la misma forma, durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de su disposición en campo, se producen emisiones de N_2O , el cual es producido cuando el nitrógeno contenido en el estiércol es nitrificado o desnitrificado.

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales anegados produce escapes de CH_4 , debido principalmente a la difusión en la atmósfera procedente de las plantas de arroz durante la estación de crecimiento. En la categoría de suelos agrícolas se calculan las cantidades de N_2O , teniendo presente el ciclo del Nitrógeno (con los procesos de nitrificación y desnitrificación), en tal sentido se tienen en cuenta las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas y de los suelos dedicados a la producción animal y las emisiones indirectas de generadas por el Nitrógeno utilizado en la agricultura. La quema de desperdicios agrícolas en los campos es una práctica agrícola común, sobre todo en los países en desarrollo; la quema en los campos de los residuos de las cosechas no se considera fuente neta de CO_2 , ya que se supone que el carbono liberado en la atmósfera se reabsorbe en la siguiente temporada de crecimiento. Sin embargo, la quema de residuos de las cosechas es una importante fuente neta de emisiones de CH_4 , CO , N_2O y NO_x . (IPCC, 1996).

Módulo de Uso y cambio en el uso del suelo

El módulo uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (LULUCF), de acuerdo a las *Directrices* del IPCC, tiene como objetivo estimar las emisiones y absorciones de CO_2 ocasionadas por el desarrollo de actividades humanas relacionadas con el cambio de uso de la tierra y la gestión de tierras principalmente forestales, estas actividades generan cambios en los contenidos de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, la conversión de bosques y praderas y el abandono de tierras cultivadas. Igualmente, en el módulo se calcula la emisión de gases diferentes al CO_2 , tales como CH_4 , N_2O , NO_x y CO generados por quemas vinculadas a la conversión de bosques y praderas.

Las categorías contempladas se presentan en la siguiente figura:

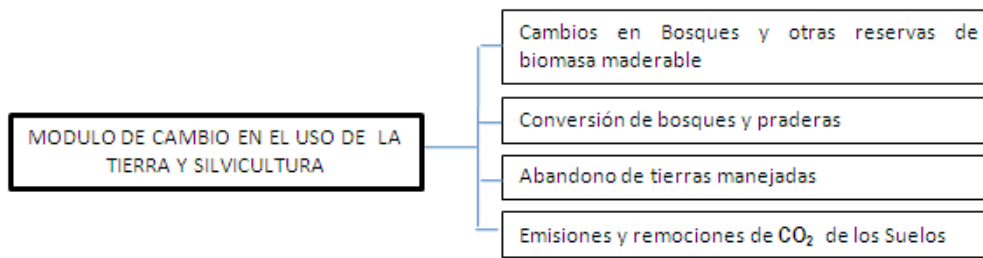


Figura 2.4. Categorías Módulo de Uso y Cambio en el Uso de la tierra y Silvicultura.
Elaboración propia, información IPCC Guías para Elaboración de Inventarios Nacionales de emisiones GEI 1996

En la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, se debe contabilizar los incrementos anuales de biomasa en plantaciones, en bosques aprovechados, el crecimiento de árboles en zonas urbanas, así como los incrementos de otras existencias de biomasa leñosa importantes. Por otro lado también se deben estimar las principales salidas de biomasa, representadas en el uso como leña y en diferentes usos maderables como la cosecha comercial para actividades de construcción, muebles y otras.

Las emisiones en la categoría conversión de bosques y praderas se producen principalmente por combustión de la biomasa producto de la conversión de uso, generalmente de bosques y praderas a tierras de cultivo o pastos permanentes; adicionalmente, durante la conversión se generan desperdicios que son abandonados en el lugar para su descomposición durante varios años; de tal forma que se calculan las emisiones inmediatas de CO₂ que ocurren en el año del inventario por quema de la biomasa y las emisiones diferidas de CO₂ que ocurren por un período de diez años durante la descomposición de la biomasa, por otra parte, la quema de biomasa es fuente significativa de CH₄, N₂O, NO_x y CO, y la metodología del IPCC estima para este módulo, las emisiones de estos gases como producto de la quema de biomasa dentro del sitio.

El IPCC (1997) establece que para la categoría de abandono de tierras cultivadas se estimen las remociones netas de CO₂ por acumulación de biomasa procedente del abandono de tierras utilizadas en cultivos o de tierras empleadas para pastoreo de animales. Se realizan los cálculos con base a dos períodos de tiempo 1) Tierras abandonadas veinte años antes del inventario, 2) Tierras abandonadas entre veinte y cien años antes del inventario.

En la categoría de emisión o absorción de CO₂ en los suelos debido al manejo y cambio de uso de la tierra, se estiman las emisiones netas (fuentes y sumideros) de tres procesos: 1) Cambios en el carbono almacenado en los suelos y la cubierta muerta de los suelos minerales debido a cambios en las prácticas de uso de las tierras. 2) Emisiones de CO₂ procedentes de suelos orgánicos convertidos a la agricultura o plantaciones forestales. 3) Emisiones de CO₂ procedentes del abonado con cal de los suelos agrícolas.

Al respecto el IPCC (1997), señala que es necesario definir los principales tipos de sistemas de manejo de la tierra utilizados en el país, así como los tipos de ecosistemas que se convierten a la agricultura (ej: bosque, sabana, pradera) o que se han derivado del uso agrícola de las tierras en el pasado (ej: tierras abandonadas, tierras reforestadas). Adicionalmente la información se debe evaluar por tipos de suelos, para lo cual el IPCC (1997) sugiere los siguientes y proporciona algunos ejemplos de grupos taxonómicos: suelos minerales con alta actividad arcillosa: vertisoles, molisoles, alfisoles altamente básicos, aridisoles e inceptisoles; suelos minerales con baja actividad arcillosa: ultisoles, oxisoles, alfisoles ácidos; suelos arenosos: Psamments; suelos volcánicos: Andisoles; suelos espódicos: espodosoles; suelos acuicos (húmedos): subordenes acuicos; suelos orgánicos: histosoles.

Módulo de residuos

El módulo de residuos estima las emisiones de CH₄ y N₂O. El CH₄ originado a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos y en las aguas residuales domésticas e industriales, y las emisiones de N₂O debidas a los procesos de nitrificación y desnitrificación del nitrógeno en las aguas residuales domésticas. Las categorías contempladas son:

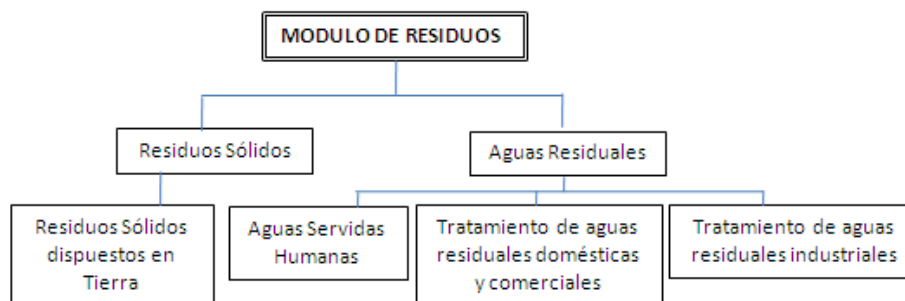


Figura 2.5. Categorías Módulo de Residuos.

Elaboración propia, información IPCC Guías para Elaboración de Inventarios Nacionales de emisiones GEI 1996

2.6. Incertidumbre en los inventarios de emisión GEI

“Un inventario de emisiones es un modelo del mundo real. Ya que nunca sabremos si o no nuestra estimación es necesariamente el valor real de la emisión, la estimación será necesariamente incierta” (PULLES, 2011).

El IPCC (2006) define incertidumbre para los inventarios de emisiones como un término general e impreciso que se refiere a la falta de certeza. En términos prácticos podría considerarse como la diferencia entre la cifra real y la estimada ajustada por su valor real:

$$\mu = \frac{E(X) - X}{X} = \frac{E(X)}{X} - 1$$

Donde: u es la incertidumbre, $E(x)$ es el valor estimado y X el valor real.

El término estadístico que cuantifica la incertidumbre es el coeficiente de variación, el cual es definido como la razón entre la desviación estándar y su media:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

σ es una medida de dispersión o de heterogeneidad que indica cuanto se desvía cada dato con respecto a su parámetro (promedio) y \bar{x} es el promedio de la variable de análisis.

Según IPCC 2006, *"Existen tres grandes fuentes de datos e información: la información contenida en los modelos; los datos empíricos asociados con las mediciones de emisiones y los datos de actividades provenientes de relevamientos y censos; y las estimaciones cuantificadas de incertidumbres basadas en el dictamen de expertos"*.

"Lo ideal es derivar las estimaciones de emisiones y absorciones y los rangos de incertidumbre de los datos medidos específicos de la categoría. Puesto que quizá no resulte práctico medir todas las categorías de fuente o sumidero de emisiones de esta forma, puede que se necesiten otros métodos para cuantificar la incertidumbre. El método pragmático para producir estimaciones cuantitativas de incertidumbre consiste en utilizar las mejores estimaciones disponibles, que suelen ser una combinación de los datos medidos, la información publicada, los resultados de los modelos y el dictamen de expertos."

Los dos métodos existentes para combinar las incertidumbres, se denominan: Método 1: propagación del error y Método 2: simulación de Monte Carlo.

Propagación de error:

Las normas de propagación de las incertidumbres establecen la forma de combinar de manera algebraica las medidas cuantitativas de la incertidumbre vinculadas a los valores de entrada de las fórmulas matemáticas utilizadas en la compilación de los inventarios, a fin de obtener las medidas correspondientes de la incertidumbre de los valores de salida: emisión por módulo (IPCC,1996).

"Una vez determinadas las incertidumbres en las categorías de fuentes, las mismas pueden combinarse para brindar estimaciones de la incertidumbre para todo el inventario en cualquier año y la incertidumbre en la tendencia general del inventario a través del tiempo.

Regla A: Cuando las cantidades inciertas se van a combinar por adición, la desviación estándar de la suma será la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman, con todas las desviaciones estándar expresadas en términos absolutos (esta regla es exacta para las variables no correlacionadas).

Usando esta interpretación, puede derivarse una ecuación simple para la incertidumbre de la suma:

Ecuación A

$$CV_r = \sqrt{\frac{(CV_1 \cdot x_1)^2 + (CV_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (CV_n \cdot x_n)^2}{x_1 + x_2 + \dots + x_n}}$$

Donde:

CV_r es la incertidumbre (coeficiente de variación) en la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95% dividido por el total (o sea, la media) y expresada como porcentaje,

x_i, CV_i son las cantidades inciertas y los coeficientes de variación asociados con ellas respectivamente

Regla B: Cuando las cantidades inciertas se van a combinar por multiplicación, se aplica la misma regla, excepto que todas las desviaciones estándar deben expresarse como fracciones de los valores medios apropiados (esta regla es aproximativa para todas las variables aleatorias).

También puede derivarse una ecuación simple para la incertidumbre del producto, expresada en términos porcentuales:

Ecuación B

$$CV_r = \sqrt{CV_1^2 + CV_2^2 + \dots + CV_n^2}$$

Donde:

CV_r es la incertidumbre porcentual en el producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza de 95% dividida por el total y expresada como porcentaje);

CV_i son las incertidumbres porcentuales asociadas con cada una de las cantidades.

El inventario de gases de efecto invernadero es principalmente la suma de los productos de los factores de emisión y los datos de actividad. Por lo tanto, las reglas A y B pueden usarse repetidamente para estimar la incertidumbre del inventario total. En la práctica, las incertidumbres encontradas en las categorías de fuentes del inventario varían desde unos pocos puntos porcentuales hasta órdenes de magnitud, y pueden correlacionarse.

Esto no es coherente con los supuestos de las reglas A y B de que las variables no están correlacionadas con una desviación estándar (coeficiente de variación) de menos de un 30% de la media, pero en tales circunstancias, aún pueden usarse las reglas A y B para obtener un resultado aproximativo. Otra alternativa es usar una simulación estocástica (el método de Monte Carlo), que puede combinar incertidumbres con cualquier estructura de distribución de probabilidad, rango y correlación, siempre que hayan sido debidamente cuantificadas."

Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es un método no determinístico que requiere de la identificación de las entradas del modelo a las que se debe asignar distribuciones de probabilidad⁶ para la estimación de la incertidumbre de las emisiones. Una vez determinadas las variables de entrada y su distribución de probabilidad se lleva a cabo un experimento que consiste en generar

⁶ Conocer sus primeros momentos centrales: media y desviación estándar

muestras aleatorias para las variables de entrada y analizar el comportamiento de las emisiones ante los valores generados.

El método calcula las emisiones de una muestra aleatoria de datos de actividad y factores de emisión, a los cuales se les ha asignado una función de distribución de probabilidad y las incertidumbres en los factores de emisión y datos de actividad. Se repite el procedimiento n veces y se obtienen n estimaciones de las emisiones. El programa se detiene cuando encuentra una diferencia entre las medias de las emisiones estimadas inferior a un nivel dado (por ejemplo $\pm 1\%$).

La ventaja de la simulación frente al método de propagación de errores es que permite asignar funciones de densidad de probabilidad de cualquier forma y amplitud, manejar diversos grados de correlación y abordar modelos más complejos. Sin embargo, requiere de información más detallada.

2.7. Emisiones GEI en Colombia

A nivel nacional, el IDEAM en el marco de la Primera y Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), ha producido inventarios de emisiones nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 siguiendo los procedimientos de estimación de emisiones y su incertidumbre, establecidos por el IPCC, 1996 (IDEAM, 2010). En la figura 2.6 se presentan los resultados obtenidos para los 4 años mencionados.

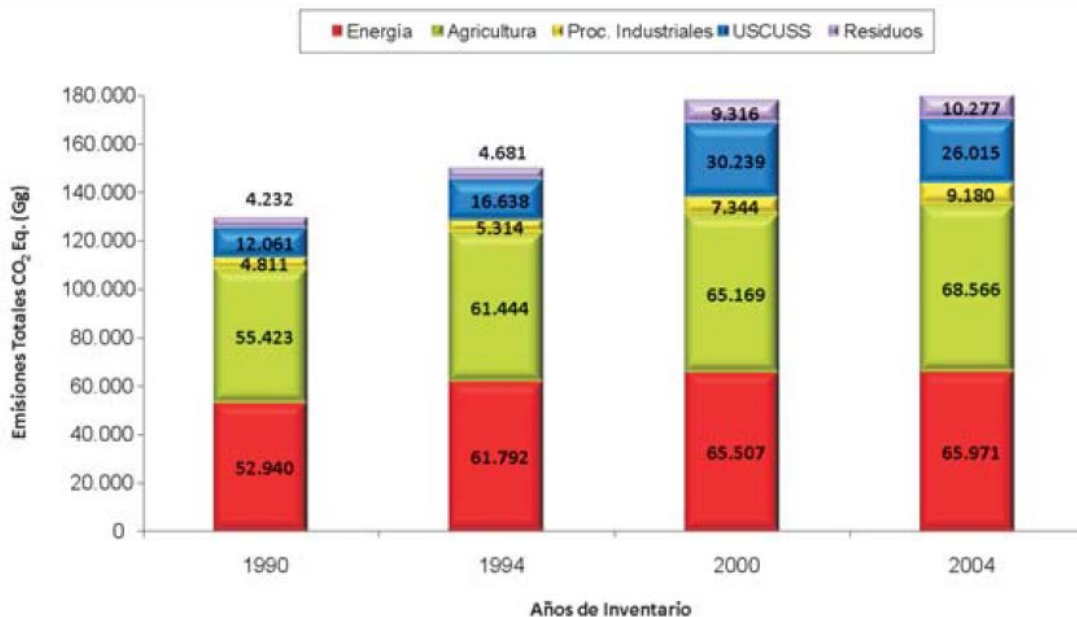


Figura 2.6. Emisiones totales GEI en CO₂ equivalente por módulo.

Fuente: IDEAM, 2010, Segunda Comunicación Nacional ante CMNUCC, cap. 2: Inventario Nacional de Emisiones GEI, pág. 128.

Respecto a los resultados calculados para los cuatro años, es importante resaltar que el IDEAM, en la Segunda Comunicación señala: *“Algunos de estos cambios reflejan no sólo el aumento neto de emisiones del país, sino una mayor y mejor investigación en el inventario de GEI, lo cual se traduce en la incorporación y precisión de información para los cálculos correspondientes”*.

Para el último año con el cual se cuenta con datos oficiales, esto es el año 2004, se tiene un total de 180.000 Gigagramos de de CO₂ equivalentes, en la tabla 3.2 se presentan los resultados obtenidos para cada modulo principal y categoría de fuente contemplada dentro de estos.

De los resultados obtenidos, en la Segunda Comunicación Nacional se destaca:

- La alta participación de los módulos de agricultura (38,1%) y energía (36,6%), con respecto al total de las emisiones nacionales, que en similares proporciones alcanzan, entre los dos, el 75% del total de las emisiones (IDEAM, 2010).
- El aporte significativo de las actividades agropecuarias (38%), las cuales, junto con el uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (USCUSS, 14%), suman 52% con respecto a las emisiones totales (94.580,11 Gg de CO₂ eq). Es preciso anotar que en el Módulo de agricultura están incluidas las actividades agrícolas y ganaderas, por lo tanto, el análisis conlleva al contexto agropecuario, según las denominaciones de estas actividades en Colombia (IDEAM, 2010).
- El aporte de emisiones similares en unidades de CO₂ eq, de los módulos de proceso industriales (5,1%) y residuos (5,7%), con respecto al total emitido en el año 2004 (IDEAM, 2010).

Tabla 2.2. Resultados de emisiones GEI en CO₂ equivalentes por categoría de fuente, Colombia año 2004.

Módulos y Categorías de fuentes y sumidero de Gases de Efecto Invernadero (2000)	CO ₂ equivalentes (Gg)	% de Participación respecto a las emisiones totales	% de Participación de la categoría respecto al módulo
TOTALES NACIONALES	180.008,18	100,00%	
1. ENERGÍA	65.971,11	36,65%	100,00%
1.A. Quema de combustibles fósiles	56.208,44	31,23%	85,20%
1.A.1. Consumo de combustibles fósiles en Industrias de Generación de Energía (centrales térmicas, autoprodutores, centros de tratamiento de gas, refinerías, altos hornos y coquerías)	15.281,57	8,49%	23,16%
1.A.2. Consumo de combustibles fósiles con fines energéticos en Industrias Manufacturera y Construcción.	13.097,50	7,28%	19,85%
1.A.3. Consumo de combustibles fósiles en el Sector Transporte (Aviación Nacional, Transporte por carretera, Transporte Ferrovionario, Navegación Nacional).	21.768,68	12,09%	33,00%
1.A.4. Consumo de combustibles fósiles con fines energéticos en otros sectores (Comercial / Institucional, Residencial, Agropecuario y otros).	6.060,69	3,37%	9,19%
1.B. Emisiones fugitivas.	9.153,11	5,08%	13,87%
1.B.1. Minería de carbón.	4.617,27	2,57%	7,00%
1.B.2. Petróleo y gas natural.	4.535,84	2,52%	6,88%
1.C. Quema de biomasa.	609,56	0,34%	0,92%
2. PROCESOS INDUSTRIALES (Transformación física y química de materias primas).	9.179,61	5,10%	100,00%
2.A. Producción de minerales no metálicos (cemento y clinker, cal y usos del carbonato de sodio).	3.505,93	1,95%	38,19%
2.B. Producción de químicos (amoníaco, ácido nítrico, usos de carburo de calcio, negro de humo, coque y metanol).	600,79	0,33%	6,54%
2.C. Producción de metales (hierro, acero, aleaciones ferrosas y aluminio).	3.782,41	2,10%	41,20%
2.D. Uso de SF ₆ (uso de SF ₆ en equipos eléctricos).	717,00	0,40%	7,81%
2.E. Utilización de Sustitutos SAO /Usos para: producción de espumas, como solventes, refrigeración móvil, refrigeración fija, aerosoles y extintores de incendios).	573,48	0,32%	6,25%
3. AGRICULTURA	68.565,58	38,09%	100,00%
3.A. Fermentación entérica (ganado bovino, búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas, asnos y cerdos).	33.258,54	18,48%	48,51%
3.B. Manejo del estiércol (bovinos, búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas, asnos, cerdos, aves de corral y almacenamiento en sólido).	1.187,91	0,66%	1,73%
3.C. Cultivos de arroz (irrigado y seco).	1.372,14	0,76%	2,00%
3.D. Suelos agrícolas (utilización de fertilizantes nitrogenados)	32.593,40	18,11%	47,54%
3.E. Quema prescrita de sabanas.	61,80	0,03%	0,09%
3.F. Quema en el campo de residuos agrícolas.	91,79	0,05%	0,13%
4. USO DE LA TIERRA, CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (USCUST)	26.014,53	14,45%	100,00%
4.A. Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.	2.130,90	1,18%	8,19%
4.B. Conservación de bosques y praderas.	16.639,67	9,24%	63,96%
4.C. Abandono de tierras cultivadas.	-100,39	-0,06%	-0,39%
4.D. Emisiones y absorciones de CO ₂ del suelo.	7.344,35	4,08%	28,23%
5. TRATAMIENTO DE RESIDUOS	10.277,35	5,71%	100,00%
5.A. Disposición de residuos sólidos (en tierra).	9.048,25	5,03%	88,04%
5.B. Tratamiento de aguas residuales (domésticas, comerciales e industriales).	457,82	0,25%	4,45%
5.C. Manejo de aguas servidas humanas.	771,28	0,43%	7,50%

Fuente: IDEAM, 20120, Segunda Comunicación Nacional ante la CMNUCC, capítulo 2: Inventario Nacional de Emisiones de GEI, pág. 127.

3. Metodología

Uno de los criterios principales para la selección de la metodología del Inventario Regional Bogotá – Cundinamarca y otros inventarios regionales de emisiones de GEI, fue su comparabilidad con los inventarios nacionales realizados por el IDEAM. Es importante garantizar la coherencia entre la información sobre emisiones reportada a nivel regional y nacional. Así mismo, se consideró oportuno aprovechar la experiencia adquirida en la elaboración de los inventarios nacionales, conocimiento y práctica adquiridos por las instituciones y actores involucrados en el proceso.

En este sentido, la metodología de referencia a emplear para la elaboración de inventarios regionales, corresponde a las directrices del IPCC aplicadas en la elaboración de inventarios nacionales. Estas metodologías permiten flexibilidad en el cálculo de los inventarios mediante el uso de métodos con distinto grado de complejidad, dependiendo de la disponibilidad de información de datos de actividad y/o el costo de su estimación y permiten realizar estimaciones de GEI en todas las fuentes posibles de un territorio en un marco común, resultando útiles para los fines de identificación de sectores prioritarios para la definición de políticas y/o proyectos de mitigación.

El IPCC ha publicado las guías metodológicas en sus revisiones de 1996 y 2006. Los inventarios nacionales elaborados por el IDEAM se han realizado bajo las directrices de 1996, por cuanto, para el cumplimiento del Protocolo de Kyoto, el acuerdo asumido a la fecha es que los inventarios sean presentados aplicando la metodología revisada en 1996. Aunque en las metodologías del 2006 se realizaron cambios tendientes a mejorar la organización de la información y lograr una mayor exhaustividad en la identificación de las actividades generadoras de GEI, es posible que para Colombia y a nivel regional no exista información con el nivel de detalle requerido.

Por lo anterior, en consenso con el IDEAM y el MADS, se definió emplear como marco general las guías del IPCC, versión 1996, realizando los ajustes y aproximaciones metodológicas necesarias para la obtención de datos a escala regional.

Las actividades principales ejecutadas para el cumplimiento de los objetivos se muestran en la figura 3.1 y a continuación se realiza una breve descripción de cada una.

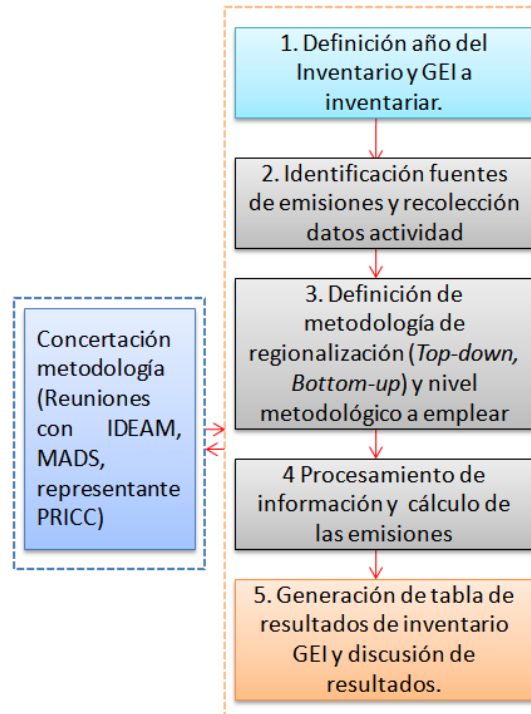


Figura 3.1. Actividades generales desarrolladas en la elaboración del Inventario

1. De manera concertada con los miembros interinstitucionales del grupo PRICC y con el IDEAM y MDS, se definió el año 2008 como referencia para la realización del inventario y los gases a inventariar que son los GEI de origen antropogénico directo que se reportan ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC): dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF_6).
2. Posteriormente, para las fuentes de emisión de GEI existentes en la región, se revisó la información necesaria sobre actividad y grado de detalle requerido para el cálculo, se identificaron las posibles fuentes de información (con el apoyo de los miembros del grupo PRICC inventarios a través de 4 sesiones de trabajo) y se realizó la recolección de información acudiendo a bases de datos disponible en internet y realizando la gestión necesaria a través de reunión con cada actor involucrado y posterior solicitud formal (carta). Se consultaron diversas fuentes de información y las seleccionadas para cada categoría se describen en el cuadro 4.1.
3. Dependiendo de la información recopilada, del grado de desagregación y de su aplicabilidad a nivel regional, se determinó el nivel metodológico a emplear y la aproximación *Top-Down* o *Bottom-Up* para la obtención de datos de actividad en cada categoría (en el cuadro 4.1. se describe la metodología empleada en cada caso). Posteriormente se realizó el procesamiento de la información teniendo en cuenta los

requerimientos del cálculo, principalmente en cuanto a unidades de medida a emplear y nivel de desagregación requerida.

4. Una vez recopilada y procesada la información e identificados los factores de emisión (en la mayoría de casos, de los suministrados por defecto por el IPCC por ausencia de datos locales), se realizó el cálculo para cada categoría de fuente y GEI de acuerdo con la ecuación propuesta en las metodologías IPCC, descritas en el cuadro 4.1; paralelamente se revisó y ajustó el inventario de emisiones y sumideros de GEI Bogotá 2008 realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente –SDA- con el fin de hacer comparables los resultados con el inventario para Cundinamarca.

Es importante mencionar que las emisiones calculadas de cada GEI son llevados a emisiones de CO₂ equivalentes mediante el potencial de calentamiento global de cada gas (GWP, por sus siglas en inglés), de tal forma que los resultados se expresan en emisiones de CO₂ equivalentes, realizando el siguiente cálculo:

$$\text{Emisiones GEI en Gg de CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Emisiones de GEI en Gg} * \text{GWP}$$

En donde

GEI = CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆.

GWP = Potencial de calentamiento global. Los valores se reportan en la tabla 2.1.

Ejemplo:

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ en Gg de CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Emisiones de CH}_4 \text{ en Gg} * 21$$

5. Una vez obtenidos los resultados del inventario para Bogotá – Cundinamarca, se realizó y documentó la discusión de resultados (ver capítulo 5), que involucra descripción de resultados totales y por módulo con la discusión sobre fuentes de información y aplicabilidad para la realización de inventarios locales en otras regiones del país, análisis de incertidumbre, identificación de sectores principales para posibles acciones de reducción de emisiones mediante diagrama de pareto (graficas 5.9 y 5.10) como insumo para acciones de mitigación estratégicas en la región.

Durante el proceso de elaboración del inventario, se realizaron reuniones periódicas con los representantes interinstitucionales del grupo PRICC con el fin de socializar la elaboración del inventario y realizar retroalimentación. También se efectuaron reuniones con representantes seleccionados del IDEAM, MADS y del PRICC, con el fin de socializar dificultades, inconvenientes, tomar decisiones y concertar metodología a emplear en la elaboración del inventario.

En el cuadro 4.1 se describen las ecuaciones generales con la respectiva definición de variables, las fuentes de información empleadas, y la aproximación metodológica (*Bottom-Up* y *Top-Down*) para regionalizar los factores de actividad para el cálculo de las emisiones en cada categoría, según los módulos propuestos por el IPCC y los aspectos tenidos en cuenta en el análisis de incertidumbre. Cada cálculo está ligado a una hoja de trabajo que se presenta

debidamente referenciada como anexo 2 del presente documento en digital en archivos en Excel (uno por módulo) y en el anexo 3 se presentan los factores de emisión empleados en cada categoría.

La descripción se realiza para todos los cálculos efectuados para Bogotá y Cundinamarca, exceptuando los resultados para algunos sub módulos en Bogotá, tomados de literatura gris, los cuales se mencionan a continuación con la debida referencia de donde fueron tomados:

- Emisiones Transporte Aéreo Bogotá, Fuente: Módulo de Energía, Inventario de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero Bogotá D.C. año base 2008, RAFAEL CHAPARRO CPS 898 DE 2009 Secretaría Distrital de Ambiente SDA.
- Emisiones Módulo de Residuos para Bogotá: Disposición de residuos sólidos (en tierra), Tratamiento de las aguas residuales domésticos y tratamiento de efluentes industriales, Fuente: Módulo de Residuos, Inventario de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero Bogotá D.C. año base 2008, ANA DERLY PULIDO CPS 553 DE 2010 Secretaría Distrital de Ambiente SDA.

Cuadro 3.1. Descripción de la metodología empleada en la estimación de las emisiones de GEI par Bogotá Cundinamarca

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
ENERGÍA	
Quema de combustibles:	
<p>EMISIONES DE CO₂:</p> $E_{CO_2} = Ac * Fe * 10^{-3} * C_{Ox} * 44/12$ <p>Ac = Dato de actividad, consumo aparente de combustible, esto es, la cantidad de combustible (TJ) consumido en la región para cada uno de los siguientes sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrias de la energía: Centrales térmicas. • Industria manufacturera: Alimentos, bebidas y tabaco; textil y confecciones; calzado y cueros; maderas y muebles; papel e imprenta; químicos; cemento; piedras, vidrio y cerámicas; hierro, acero y no ferrosos; maquinaria y equipos; otros. • Transporte: Pasajeros privado interurbano, pasajeros privado urbano, pasajeros público urbano, pasajero público interurbano, pasajero público urbano, carga urbana, carga interurbana y ferroviario. • Comercial y público. • Residencial: Cocción, iluminación, agua caliente, nevera, aire acondicionado • Otros: Agricultura, minería y construcción (Tractores, secado de granos, procesamiento agrícola, riego, fumigación, otros). <p>Fe = Factor de emisión, variable empleada para convertir el consumo aparente en contenido de carbono (t C / TJ). Por defecto IPCC, 1996 tabla 1-2, Libro de Trabajo.</p> <p>C_{Ox} = Fracción de carbono oxidado. Fracción que se emplea</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC, guías 1996. Para obtener los datos de actividad se emplearon aproximaciones metodológicas Bottom-Up y Top-Down:</p> <p>CONSUMO APARENTE DE COMBUSTIBLE (Ac):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrias de la energía – <i>Bottom-Up</i>: El consumo de combustibles se tomó de información reportada por EMGESA S.A. E.S.P. (administradora de las centrales térmicas e hidroeléctricas existentes en la región) en su Informe de sostenibilidad 2008. • Industria manufacturera – <i>Top-Down</i>: Se empleó información del Balance Energético Nacional de Colombia 2008 -BEN 2008- (versión actualizada y revisada) generado por la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME - y los datos de valor agregado por ramas de actividad económica, a precios corrientes año 2008 (actividad C. industrias manufacturera) reportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales, Cuentas nacionales y departamentales; realizando el siguiente cálculo, que se sustenta en indicadores de intensidad energética por valor agregado, cálculo realizado en otros inventarios locales en el mundo: $Ac_{regional\ i\ n} = (Ac_{in} * VA_{regional\ n}) / VA_{nacional\ n}$ <p>AC_{regional i} = Consumo regional combustible i en el sector n (TJ) AC_{in} = Consumo nacional combustible i en el sector n (TJ) VA_{regional n} = Valor agregado regional sector n (\$) VA_{nacional n} = Valor agregado sector n (\$)</p> <p>Para este cálculo también se realizó una aproximación Bottom-Up empleando información de consumos de combustibles por industria, según datos reportados para inventarios de emisiones de contaminantes criterio efectuados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y para Bogotá, del Inventario de Emisiones de contaminantes criterio realizado por la Universidad de los Andes en el año 2007. La metodología empleada y resultados se detallan en el anexo 4 del presente documento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transporte – <i>Bottom-Up</i>: Se realizó el cálculo para diesel y gasolina con la información suministrada por la UPME sobre ventas por departamento, calculado a partir de la sobre tasa cobrada a los combustibles líquidos. El cálculo para gas natural se realizó empleando información de ventas de GNV en el departamento reportada por la Comisión de Regulación de Energía Gas – CREG- reportada en su página de internet.

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>para tener en cuenta la fracción de carbono no oxidado. Por defecto IPCC, 1996 Tabla 1-6, Manual de Referencia.</p> <p>EMISIONES DE CH₄ y N₂O:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $E_{GEI} = Ac * Fe * 10^{-6}$ </div> <p>Ac = Dato de actividad, consumo aparente de combustible, esto es, la cantidad de combustible (TJ) consumido en la región para cada uno de los sectores mencionados anteriormente en el cálculo para emisiones de CO₂</p> <p>Fe = Factor de emisión, variable empleada para convertir el consumo aparente en contenido de carbono (t C / TJ). Por defecto IPCC, 1996 tablas 1-7 y 1-8, Manual de Referencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comercial y público – <i>Top-Down</i>: El cálculo para gas natural se realizó empleando información de consumos no residenciales (comercial por departamento, por empresa) reportado por el sistema de información – SUI- de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SISPD. Para los demás combustibles se empleó información del BEN 2008 (versión actualizada y revisada) generado por la UPME y los datos de valor agregado, por ramas de actividad económica, a precios corrientes año 2008 (actividad F. comercio, reparación, restaurantes y hoteles) reportados por el DANE. Se realizó el mismo cálculo que para el sector industrial, tomando los valores agregados (\$) para el sector comercio. • Residencial: - <i>Bottom-Up y Top-Down</i>: El cálculo se realizó empleando los datos de suministro de gas natural y gas licuado del petróleo al sector residencial por departamento reportados por el SUI de la SISPD. Para el consumo de Carbón Mineral, se tomó información reportada por la UMPE en la publicación “Cadena del Carbón en Colombia” en donde se especifica que el consumo de carbón mineral en Colombia se distribuye tan solo en algunos departamentos, mostrando a Boyacá como el mayor consumidor (34%), seguido por Cundinamarca (22%), Valle del Cauca (19%), Antioquia (14%). De estos totales se estima en la misma publicación que el sector residencial consume cerca del 19,3%; así las cosas se realiza el siguiente estimativo para el sector doméstico en Cundinamarca, a partir del total consumido en el sector residencial según BEN de la UPME: $Ac_{CM\ resid\ regional} = Ac_{CM\ resid\ nacional} * 0,22 * 0,19$ <p>Ac_{CM resid regional} = Consumo carbón mineral residencial regional (TJ) Ac_{CM resid nacional} = Consumo total nacional carbón mineral residencial (TJ)</p> <p>Para el consumo de gasolina se realizó una aproximación por consumo por habitante a partir del dato de consumo total en Colombia reportado por el BEN 2008 y de las estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total departamental por área del DANE, así:</p> $Ac_{G\ resid\ regional} = (Ac_{G\ resid\ nacional} * P_{dep\ Cundi}) / P_{nacional}$ <p>Ac_{G resid regional} = Consumo gasolina Cundinamarca sector residencial (TJ) Ac_{G resid nacional} = Consumo total residencial gasolina nacional (TJ) P_{dep Cundi} = Población departamento Cundinamarca P_{nacional} = Población total nacional</p>
<p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Energía, Hoja de Trabajo 1-2.</p>	<p>CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE:</p> <p>Se empleó la ecuación A y B descrita en el marco teórico. Para los datos que se obtienen mediante aproximación Top-Down se asocia una incertidumbre atribuida a la metodología del 30%, adiciona a la dada por los errores en el modelo de cálculo de los BEN y Cuentas nacionales y proyecciones de población, los cuales se consideran bajos (menores al 10%) según los actores involucrados. Los datos de actividad empleados bajo metodología <i>Bottom-Up</i>, presentan CV de alrededor del 5%. Los CV de los factores de emisión se toman del IPCC, 1996 Y 2006.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>Emisiones Fugitivas:</p> $E_{CH_4} = Ac * Fe * Fc$ <p>Ac = Dato de actividad, producción de carbón en minas subterráneas y a cielo abierto (10⁶ toneladas). Fe = Factor de emisión (m³ ch₄ / t carbón producido). Por defecto IPCC, 1996 Tabla Tabla 1-5, Manual de Referencia. Fc = Factor de conversión de unidades de volumen a masa (Gg CH₄ / 10⁶ m³ CH₄). Por defecto IPCC, volumen 1 página 1.29, Libro de trabajo.</p> <p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Energía, Hoja de Trabajo EMISIONES FUGITIVAS.</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC, guías 1996. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>PRODUCCIÓN DE CARBÓN (Ac): Bottom up: Se empleó información de producción de carbón por departamento reportada por la UPME en el sistema de información minero. Por requerimientos del cálculo, es necesario contar con una clasificación de la producción de carbón en minas a cielo abierto y en minas subterráneas; por lo tanto se consultó el libro <i>Minería en Colombia</i> para determinar el sistema de producción en cada zona carbonífera. De esta revisión se determinó que el 100% de la producción de carbón en Cundinamarca corresponde a minería subterránea.</p> <p>CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE: Se empleó la ecuación A y B descrita en el marco teórico. El coeficiente de variación para los datos de actividad está asociado a la producción informal, no cuantificada dentro de las estadísticas oficiales. El CV del factor de emisión es reportado por el IPCC 2006.</p>
<p>PROCESOS INDUSTRIALES</p> <p>Emisiones por proceso:</p> $E_{GEI} = A_j * Fe_{ij}$ <p>A_j : Dato de actividad, producción (Ton/año): Producción anual en el sector industrial j; en donde los sectores y procesos considerados pueden ser los descritos en el cuadro X</p> <p>Fe_{ij} = : Factor de emisión asociado con el gas i (CO₂, CH₄, N₂O) por unidad de actividad (producción) en el sector industrial j (Ton GEI/ Ton producto). Por defecto IPCC, 1996 página 2.4, libro de trabajo Procesos Industriales.</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC, guías 1996. En esta categoría se calcula únicamente la producción de cemento, vidrio y coque [Ossma, 2012]. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>PRODUCCIÓN (TON/AÑO) AJ: Los datos de producción de cemento, vidrio y coque se tomaron de la Encuesta Anual Manufacturera EAM anual publicada por el DANE en su página de Internet:</p> <p>CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE: Se emplea la formula A consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación asociado al dato de actividad se establece teniendo en cuenta que la EAM es un censo industrial cuya cobertura no incluye a las microempresas (según anexo metodológico de la encuesta). La industria de cemento y vidrio plano corresponde en su totalidad a pequeñas y medianas industrias y en la producción de coque si se tiene en cuenta este error. El coeficiente de variación asociado al factor de emisión se toma del IPCC 1996.</p>
<p>Utilización sustitutos SAO:</p> <p>Emisiones = Producido + Importado – Exportado – Destruído</p> <p>Cantidad de sustancia producida en el país (masa) Cantidad de sustancia importada en el país (masa) Cantidad de sustancia exportada en el país (masa)</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC, guías 1996. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Top-Down [Ossma, 2012]: En el país no se realiza producción ni exportación de las sustancias consideradas, por lo tanto la cantidad importada corresponde a la cantidad consumida. Se desconoce información sobre sustancias destruidas.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>Cantidad de sustancia destruida en el país (masa). Sustancias: Principales HFC's: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134^a, HFC-143^a, HFC-152^a, HFC-227ea, HFC-236fa, HFC-245fa, HFC-365mee, HFC-43-10mee. Principales PFC's: PFC-14, PFC-16, PFC-218</p>	<p>CANTIDAD DE SUSTANCIA IMPORTADA: Top-Down: Se empleó información sobre importaciones a nivel nacional del Banco de Datos de Comercio Exterior BACEX del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo MCIT e información sobre el PIB nacional y departamental de las Cuentas económicas Nacionales y departamentales de Colombia generadas por el DANE. Se calculó el dato de consumo en Cundinamarca y en Bogotá, prorrateando las importaciones nacionales por departamento mediante el PIB, así: Consumo Cundinamarca (ton) = (Importaciones nacionales en ton)/PIB nacional en \$)*PIB Cundinamarca en \$. Consumo Bogotá (ton) = (Importaciones nacionales en ton/PIB nacional en \$)*PIB Bogotá en \$.</p> <p>CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE: e emplea la formula A Y B consignada en el Marco Teórico tiene en cuenta la formula de la aproximación Top-Down. Se asocia un error por el método, dado que este no contempla las desviaciones por demanda de refrigeración en las regiones del país, la cual difiere principalmente por condiciones climáticas y porque asume relación proporcional entre el consumo y el PIB. Se establece el CV de las Cuentas Económicas Nacionales, teniendo en cuenta que estas se constituye en un conjunto sistemático e integrado de cuentas macroeconómicas y reglas contables aceptados internacionalmente (según ficha metodológica DANE) y el CV de los datos de importaciones teniendo en cuenta que se basan en la contabilidad estricta de las sustancias que ingresan al país, controlada por el MCIT.</p>
MODULO DE AGRICULTURA	
Fermentación entérica del ganado doméstico y manejo de estiércol:	
<p>Emissiones de metano CH₄ por fermentación entérica del ganado doméstico y manejo de estiércol:</p> $E_{CH_4} = Fe * P * 10^{-3}$ <p>E CH₄ = Emissiones de metano en Gg P = Número de animales, según siguiente clasificación: Ganado lechero, ganado no lechero, búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas y asnos Fe = Factor de emisión (kg CH₄/animal/año), para fermentación entérica y manejo del estiércol.</p> <p>Emissiones de oxido nitroso N₂O procedentes de los</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 y Nivel 2 del IPCC guías 1996:</p> <p>Nivel 2: Para ganado bovino se empleó un factor de emisión para Cundinamarca, tomado de los calculados para realizar el Inventario Nacional del 2004 efectuado en el Marco de la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. (Inventario nacional, Capítulo 4, página 216, IDEAM 2010).</p> <p>Nivel 1: Para las categorías pecuarias búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas y asnos, cerdos y aves de corral se empleó factor de emisión por defecto IPCC guías 1996, libro de trabajo volumen 4, tabla 4-2.</p> <p>Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>NÚMERO DE ANIMALES: <i>Bottom up:</i> Se utilizó la información sobre número de cabezas de ganado bovino suministrada por Federación Colombiana de Ganaderos FEDEGAN del Inventario por departamentos año 2008. Para las demás categorías</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>sistemas de manejo de estiércol:</p> $E_{N_2O} = Nex * Fe * 44/28 * 10^{-6}$ <p>E N₂O = Emisiones de oxido nitroso en Gg Fe = Factor de emisión (kg N₂O-N/kg N). Por defecto IPCC, 1996 libro de trabajo volumen 4, tabla 4-8.</p> <p>Nex = Nitrógeno Excretado (kg N/año). Se requiere conocer el tipo de manejo dado al estiércol, para su cálculo, para cada sistema de manejo de estiércol, se maneja la siguiente ecuación:</p> $Nex_{SME} = P * Nex * F_{NESME}$ <p>Nex_{SME} = Nitrógeno Excretado por sistema de manejo del estiércol (kg N/año) P = Numero de Animales Nex = Nitrógeno Excretado por sistema de manejo, por categoría pecuaria (kg/cabeza/año). Por defecto IPCC, 1996 volumen 4, Tabla 4-6. F_{NESME} = Fracción de nitrógeno del estiércol por sistema de manejo del estiércol para cada categoría pecuaria. Por defecto IPCC, 1996 Tabla 1-6, Manual de Referencia.</p>	<p>pecuarias (búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas y asnos, cerdos, aves de corral) se empleó información de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Cundinamarca SADR, de las Estadísticas pecuarias año 2008.</p> <p>Nota sobre la variable Fracción de Nitrógeno del Estiércol por sistema de Manejo Nex: Con el fin de realizar una revisión rápida de los sistemas de manejo de estiércol en Cundinamarca, y de otros prácticas agrícolas requeridos en el Módulo de agricultura que se irán especificando en el ítem correspondiente, se aplicó una encuesta al 35% de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria-UMATAS del Departamento (seleccionadas por ser las más representativas, ver anexo 5), en donde una de las preguntas abiertas hacía referencia a los sistemas de manejo de ganado bovino y cerdos. Dicha encuesta fue respondida por 28 municipios y las descripciones dadas sobre este aspecto permitieron definir que los sistemas de manejo propuestos por defecto por IPCC para América Latina son cercanos a la realidad de la región, razón por la cual se optó por emplear las fracciones de nitrógeno especificadas en la Tabla 4-7. En el anexo 6 se presenta el consolidado de las respuestas a las diferentes preguntas realizadas en la encuesta.</p> <p>CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE: Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación asociado al dato de actividad se establece teniendo en cuenta que FEDEGAN recopila sus estadísticas a través de información de vacunación en campo y la SADR de Cundinamarca la centraliza a través de información de las UMATAS de cada municipio. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p> <p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Agricultura, Hojas de Trabajo 4-1 y 4-1 adicional.</p>
<p>Quema en el campo de residuos agrícolas</p> $E_{CH_4} = C_{Liberado} * R_{Emis C/CH_4} * 16/12$ $E_{N_2O} = C_{Liberado} * R_{N/C} * R_{Emis N/N_2O} * 44/28$ <p>E CH₄ = emisiones de metano en Gigagramos E N₂O = emisiones de oxido nitroso en Gigagramos R_{Emis C/CH₄} = relación de emisiones de Carbono a metano. IPCC 1996, volumen 4 Tabla 4-16 R_{Emis N/N₂O} = relación de emisiones de Nitrógeno a óxido nitroso. IPCC 1996, volumen 4 Tabla 4-16 R_{N/C} = Relación Nitrógeno/Carbono C_{Liberado} = Carbono liberado por la quema (Gg de carbono), se</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC guías 1996. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>PRODUCCIÓN ANUAL: <i>Bootm up:</i> Los datos de producción se tomaron de la base de datos agrícola de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Cundinamarca - SADR. Se aplicó una encuesta a 41 de las 116 UMATAS del departamento, las más representativas en términos de producción agrícola y área sembrada (ver anexo 5), se recibió respuesta de 28 de estas. Dentro de las preguntas, se incluyó una referente a la práctica de quema de residuos en campo y 15 de las 28 que respondieron, afirman que se realiza quema de residuos del cultivo de maíz; razón por la cual fue el único cultivo para el cual se realizó el cálculo. En el anexo 6 se puede consultar el resumen de las respuestas dadas por las 28 UMATAS.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>calcula de las siguiente forma:</p> $C_{\text{Liberado}} = A * R_{\text{res/cul}} * F_{\text{ms}} * F_{\text{q}} * F_{\text{ox}} * F_{\text{C/res}}$ <p>A = Dato de actividad = Producción anual (Ton cultivo) R_{res/cul} = Relación residuo – cultivo. F_{ms} = Fracción de materia seca en el residuo. F_q = Fracción quemada en los campos. F_{ox} = Fracción oxidada F_{C/res} = Fracción de carbono en el residuo. Las variables R_{res/cul}, F_{ms}, F_q, F_{ox} y F_{C/res} se tomaron por defecto IPCC 1996, volumen 4 Tabla 4-15.</p>	<p>CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE: Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación asociado al dato de actividad se establece teniendo en cuenta que la SADR de Cundinamarca centraliza los datos agrícolas a través de información de las UMATAS de cada municipio. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p> <p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Agricultura, Hoja de Trabajo 4-4.</p>
<p style="text-align: center;">Suelos Agrícolas</p> $E_{\text{N}_2\text{O}} = E_{\text{N}_2\text{O DIRECTAS}} + E_{\text{N}_2\text{O ANIMALES}} + E_{\text{N}_2\text{O INDIRECTAS}}$ $E_{\text{N}_2\text{O DIRECTAS}} = [F_{e1} * (F_{\text{SN}} + F_{\text{E}} + F_{\text{BN}} + F_{\text{RC}}) + (F_{\text{OS}} * F_{e2})] * 10^{-6}$ <p>E N₂O = Emisiones de oxido nitroso en Gigagramos. F_{e1} = Factor de emisión para las emisiones directas, diferentes a las generadas por suelos hitosoles (kg N₂O–N/kg N). F_{e2} = Factor de emisión para las emisiones directas generadas por cultivos en suelos hitosoles (kg N₂O–N/kg N). F_{OS} = Superficie de cultivos en suelos hitosoles (ha) F_{SN} = Aporte de Nitrógeno por Fertilizante sintético (kg N) calculado mediante la siguiente ecuación:</p> $F_{\text{SN}} = N_{\text{FERT}} * (1 - Fr_{\text{GASF}})$ <p>N_{FERT} = Total de fertilizante sintético utilizado en el país (Kg) Fr_{GASF} = Fracción del total de nitrógeno del fertilizante sintético que se emite como NO_x + NH₃ (Kg N/Kg N). FE = Aporte de Nitrógeno por estiércol de animales (kg N) calculado mediante la siguiente ecuación:</p> $F_{\text{E}} = N_{\text{ex}} * (1 - (Fr_{\text{COMB}} + Fr_{\text{PAST}} + Fr_{\text{GASM}}))$ <p>N_{ex} = Nitrógeno excretado por los animales (Kg N) Fr_{COMB} = Fracción del nitrógeno quemado como combustible Fr_{PAST} = Fracción del nitrógeno excretado durante el pastoreo Fr_{GASM} = Fracción del Nitrógeno excretado emitido como NO_x</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de <u>Nivel 1</u> del IPCC guías 1996. Para obtener los datos de actividad se emplearon aproximaciones metodológicas <u>Bottom-Up</u> y <u>Top-Down</u>:</p> <p>TOTAL DE FERTILIZANTE SINTÉTICO UTILIZADO EN LA REGIÓN (N_{FERT}): <i>Top-Down:</i> Para esta información se realizó una aproximación tomando como información base el consumo de fertilizantes sintéticos a nivel nacional en el año 2008 reportado por el ICA en su documento “Comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelos 2008”, el total de área sembrada en cultivos en Colombia y el área total sembrada en cultivos en Cundinamarca. Los datos sobre área sembrada se tomaron de información reportada por Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Dirección de Política Sectorial - Grupo de Sistemas de Información y la Secretaría de Agricultura y desarrollo rural del departamento.</p> <p>SUPERFICIE CULTIVADA EN SUELOS ORGÁNICOS –HITOSOES – (F_{OS}): <i>Bottom-Up:</i> Para la obtención de este dato se realizó cruce de información entre la capa de tipos de suelo de Cundinamarca suministrada por el IGACC (Documento estudio de suelos de Cundinamarca, capítulo 5, Génesis y taxonomía de los suelos) y las Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, suministrada por la subdirección de Ecosistemas del IDEAM. Los suelos contemplados, del orden Histosol fueron los de los subordenes Folists (MEU y MEN), Fibrists (RMS) y Hemists (MGT) y las coberturas tenidas en cuenta fueron: 2.1 cultivos transitorios, 2.2 cultivos permanentes, y 2.4 áreas agrícolas heterogéneas.</p> <p>PRODUCCIÓN DE CULTIVOS FIJADORES DE NITRÓGENO (Cultivo_{Bf}) y NO FIJADORES DE NITRÓGENO (Cultivo₀): <i>Bottom-Up:</i> La producción de cultivos fijadores de nitrógeno, es decir de legumbres en Cundinamarca (arveja, frijol, haba y habichuela) y de los no fijadores de nitrógeno, se tomó de las estadísticas agropecuarias suministradas por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Cundinamarca.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>y NH₃ FBN = Aporte de Nitrógeno por cultivo fijadores de nitrógeno (kg N) calculado mediante la siguiente ecuación:</p> $F_{BN} = 2 * Cultivo_{BF} * Fr_{NCRBF}$ <p>Cultivo_{BF} = Producción de cultivos fijadores de nitrógeno (Kg) Fr_{NCRBF} = Fracción del nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N/kg de biomasa seca) FRC = Aporte de Nitrógeno por residuos de las cosechas (kg N) calculado mediante la siguiente ecuación:</p> $F_{RC} = 2 * [Cultivo_0 * Fr_{NCRO} + Cultivo_{BF} * Fr_{NCRBF}] * (1 - Fr_R) * (1 - Fr_{QUEM})$ <p>Cultivo₀ = Producción de cultivos no fijadores de Nitrógeno (Kg). Fr_{NCRO} = Fracción del Nitrógeno en cultivos no fijadores del Nitrógeno. Fr_R = Fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha. Fr_{QUEM} = Fracción de residuos de la cosecha que se quema en lugar de ser abandonados en los campos.</p> $E_{N_2O \text{ ANIMALES}} = N_{ex(pas)} * F_{e3}$ <p>E N₂O ANIMALES = Emisiones de oxido de nitroso de los suelos procedentes del pastoreo de animales (Gg) Nex(pas) = Nitrógeno excretado, sistema pastoreo animales. Fe₃ = Factor de emisión (kg N₂O–N/kg N)</p> $E_{N_2O \text{ INDIRECTAS}} = [(N_{FERT} * Fr_{GASF5}) + (N_{EX} * Fr_{GASM})] * F_{e4} * 10^{-6} + [(N_{FERT} + N_{EX}) * Fr_{LEACH}] * F_{e5} * 10^{-6}$ <p>Fra_{GASF5} = Fracción del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza. Fra_{GASM} = Fracción del total de N excretado en el estiércol que se volatiliza Fra_{LEACH} = Fracción de N lixiviado Fe₄ = Factor de emisión de oxido de nitroso procedentes de la deposición atmosférica de NH₃ y NO_x Fe₅ = Factor de emisión de oxido nitroso procedentes de la lixiviación.</p>	<p>Notas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La variable nitrógeno excretado por los animales (N_{ex}), corresponde a la misma estimada en el cálculo de emisiones de N₂O por manejo del estiércol, teniendo en cuenta los resultados para todos los sistemas de manejo de estiércol, excepto el generado por pastoreo de animales, que se tiene en cuenta posteriormente en este cálculo y los sistemas de tipo líquido que se contempla en el ítem sobre manejo de estiércol. • Las FRACCIONES: Fr_{GASF}, Fr_{PAST}, Fr_{GASM}, Fr_{NCRBF}, Fr_{NCRO}, Fr_R, Fr_{QUEM}, Fra_{GASF5}, Fra_{GASM}, Fra_{LEACH}, se tomaron por defecto de las guías IPCC 1996, volumen 4, Tabla 4-17. • Los Factores de emisión para las emisiones directas (Fe₁ y Fe₂) e indirectas (Fe₃, Fe₄, Fe₅), se tomaron por defecto presentados en la Tabla 4-18 del las guías IPCC 1996, volumen 4. <p>CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE:</p> <p>Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico.</p> <p>El coeficiente de variación del dato de actividad para el total de fertilizante sintético utilizado en la región, tiene en cuenta el error asociado al modelo <i>Top-Down</i> que asume relación directa entre la cantidad de fertilizante consumido y las hectáreas sembradas, sin tener en cuenta la variación de cultivos entre regiones (requerimientos de nutrientes según tipo de suelo y grado de tecnificación de cultivos). Así mismo combina la incertidumbre dada por los registros de importaciones y exportaciones de ventas de fertilizantes reportados por el ICCA y por sistema de recolección de información agrícola centralizado por la SADR de Cundinamarca a través de las UMATAS de cada municipio.</p> <p>El coeficiente de variación de la superficie cultivada en suelos Orgánicos –histosoles, está asociado a las técnicas de medición empleadas por el IGAC y el IDEAM para generar los mapas empleados. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p> <p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Agricultura, Hoja de Trabajo 4-5.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p align="center">RESIDUOS</p> <p align="center">Residuos Sólidos</p>	
<p>$E_{CH_4} = [(RSUT * FCM * COD * COD_F * F * 16/12) - R] * (1 - OX)$</p> <p>E CH₄ = Emisiones de metano generadas por la disposición de residuos sólidos en tierra (Gg)</p> <p>RSUT = Total anual de Residuos Sólidos Urbanos dispuestos en tierra (Gg)</p> <p>FCM = Factor de Corrección para el Metano (adimensional), según tecnología de los rellenos.</p> <p>COD = Fracción de Carbono Orgánico Degradable en los Residuos Sólidos Urbanos</p> <p>COD_F = Fracción de COD que se realmente se degrada, dado que el carbono orgánico degradable no se descompone del todo y parte permanece en el relleno, incluso durante largos periodos de tiempo. Se asume un valor por defecto de 0.77, dado por las directrices del IPCC, 1996.</p> <p>F = Fracción del carbono liberado como Metano. Se asume un valor por defecto de 0.5, dado por las directrices del IPCC, 1996.</p> <p>R = Recuperación anual de metano (Gg CH₄), correspondiente al quemado de gases en antorcha o en los sistemas de recuperación de la energía.</p> <p>OX = Factor de corrección para la oxidación del metano. El valor por defecto es 0; tomado de las guías 1996, página 6.11.</p> <p>COD = Fracción de Carbono Orgánico Degradable en los Residuos Sólidos Urbanos, se requieren datos de composición de residuos dispuestos y el contenido del carbono orgánico degradable en cada residuos, se calcula mediante la siguiente fórmula:</p> <p>$COD = X * Y$</p> <p>X = Proporción de cada tipo de residuos de residuo respecto al total dispuesto (por peso).</p> <p>Y = Porcentaje de carbono orgánico degradable en cada tipo</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 del IPCC guías 1996. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>TOTAL ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DISPUESTOS EN TIERRA (RSUT): Metodología <i>Bottom up</i>: La información sobre cantidad de residuos sólidos dispuestos en tierra en el año 2008, en los diferentes rellenos sanitarios de Cundinamarca (Chocontá, Cucunuba, Villapinzón, Nuevo Mondoñedo, Praderas del Magdalena) fue suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR – Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible.</p> <p>Notas sobre las demás variable:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para el factor de corrección para el metano (FCM), se emplearon los factores por defecto los propuestos en el cuadro 3.2, volumen 5, IPCC de 2006, que corresponden a los reportados en la tabla 6.2 de las guías de 1996. Es importante mencionar que se toma esta tabla de las guías del 2006, dado que ofrece mayor explicación de dichos factores. Los factores se seleccionaron teniendo en cuenta las características de los rellenos de la region, consultados en el documento "Situación actual de la gestión integral de residuos sólidos: plantas de aprovechamiento y disposición final en el departamento de Cundinamarca" de diciembre de 2010, suministrado por la Secretaría de Ambiente del Cundinamarca. • Fracción de Carbono Orgánico Degradable (COD): La composición de los residuos dispuestos (variable x) en los rellenos Sanitarios Nuevo Mondoñedo y Praderas del Magdalena se tomó del documento "Situación actual de la gestión integral de residuos sólidos: plantas de aprovechamiento y disposición final en el departamento de Cundinamarca" de diciembre de 2010, y de información adicional suministrada por la Secretaría de Ambiente el Cundinamarca. La información para los demás rellenos locales fue tomada de los respectivos PGIRS (Programa Gestión Integral de Residuos Sólidos) consultados en la Secretaría de Ambiente de Cundinamarca. • La fracción de carbono orgánico degradable en cada tipo de residuo (Y) se tomó de los valores dados por defecto IPCC 2006 Capítulo 2, Cuadro 2.4. Se aclara que se tomó la tabla de las directrices del 2006, dado que suministra valores para más tipos de residuos que las guías IPCC de 1996. • El valor de la variable Recuperación anula de metano (R) se asume como 0, dado que en el año 2008 no se realizaba la captación y recirculación del metano generado en los Rellenos de la Región. <p>CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE: Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación del dato de actividad</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p>de residuo (por peso)</p> <p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Residuos, Hoja de Trabajo 6-1.</p>	<p>y de la caracterización de los residuos dispuestos (dato para determinar la fracción de componente orgánico degradable) está asociado al sistema de medición de la cantidad de residuos dispuestos en cada relleno empleadas por las operadoras, quienes reportan el dato a la CAR. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p>
Aguas residuales domésticas	
$E_{CH_4} = [(P * COD * Fe) - R] * 10^{-6}$ <p>P= Población (miles de personas) COD = Componente Orgánico Degradable (Kg DBO/1000 personas/año) R = Metano recuperado y/o quemado en antorcha (Kg CH₄) Fe = Factor de emisión (Kg CH₄/Kg DBO), calculado mediante la siguiente fórmula:</p> $Fe = Fr_{ST} * FCM * B_0$ <p>Fr_{ST} = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de tratamiento FCM = Factor de conversión en metano para el sistema de tratamiento. B₀ = Capacidad máxima de producción de metano (kg CH₄/kg DBO). Valor por defecto dado por el IPCC 1996 volumen 6, página 6.16</p>	<p>Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de Nivel 1 y Nivel 2 del IPCC guías 1996: Con la información disponible en Cundinamarca fue posible realizar para las 25 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS) de Cundinamarca que cuentan con tratamiento de tipo anaerobio, una aproximación metodológica de nivel 2 para 15 y de nivel 1 para las restantes 10. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica Bottom-Up:</p> <p>COMPONENTE ORGÁNICO DEGRADABLE (COD): <i>Bottom-Up - Nivel 2:</i> Se empleó información de 15 plantas de tratamiento administradas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR –, datos suministrados por la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible de dicha institución, quienes entregaron valores promedio de DBO5 mg/litros y de caudal (L/S), a partir de los cuales se realizó el cálculo de KgDBO/año, así:</p> $DBO5 \text{ mg/litros} * \text{caudal (L/S)} * 10^{-6} \text{ mg} * 60 \text{ seg/1min} * 60 \text{ min/1hora} * 24 \text{ horas/1día} * 365 \text{ días/1 año}$ <p><i>Bottom-Up - Nivel 1:</i> Se emplearon valores de población con cobertura de alcantarillado en los 10 municipios para los cuales no se tienen datos de DBO5 mg/litros; los datos de población municipal se tomaron de los datos de población del DANE y el porcentaje de cobertura de alcantarillado del libro Sistema de Alcantarillado en Colombia, Visión del Servicio Público, de la Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Se asumió un valor promedio de 11,315 kg DBO/ personas/año calculado o a partir de la carga per cápita 31.0 g/hab*día (dato tomado de Información Suministrada por el IDEAM). Con estos datos se realizó el cálculo de KgDBO/año, así:</p> $\text{kg DBO/ personas/año} * (\text{población municipio} * \% \text{ cobertura de alcantarillado del respectivo municipio})$
<p>En el anexo 2 se presenta la hoja de cálculo en Excel empleada, denominada Módulo de Residuos, Hoja de Trabajo 6-2.</p>	<p>Nota: para la variable Fracción de las aguas residuales tratadas por el sistema de tratamiento (Fr_{ST}), según información reportada por la CAR, los tipos de tratamiento anaerobio existentes en Cundinamarca son tipo reactores y lagunas. Esta fracción para estos dos sistemas se calculó así: kg DBO tratadas en reactores / kg DBO total y kg DBO tratadas en lagunas / kg DBO total.</p> <p>CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE: Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación del dato de actividad está asociado al sistema de medición de la carga orgánica en cada planta, quienes reportan el dato a la CAR. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p>

MÓDULO / ECUACIÓN GENERAL	METODOLOGÍA / FUENTE DE INFORMACIÓN
<p data-bbox="331 261 646 289">Aguas residuales industriales</p> $E_{CH_4} = [(Prod * COD * E_{prod} * Fe) - R] * 10^{-6}$ <p data-bbox="184 358 793 630"> Prod = Total de la producción industrial (T/año) COD = Componente orgánico degradable por tipo de industria (kg DQO/m³ aguas residuales) E_{Prod} = Efluentes producidos (m³/Tonelada de producto) R = Metano recuperado y/o quemado en antorcha (Kg CH₄) Fe = Factor de emisión medio para la fuente de efluentes industriales (Kg CH₄/Kg DQO), se requiere saber el sistema de tratamiento de efluentes en cada caso, y se calcula mediante la siguiente fórmula: </p> $Fe = Fr_{ST} * FCM * B_O$ <p data-bbox="184 748 793 959"> Fr_{ST} = Fracción de las aguas residuales tratadas por sistemas de tratamiento FCM = Factor de conversión en metano para el sistema de tratamiento. B_O = Capacidad máxima de producción de metano (kg CH₄/kg DQO). Valor por defecto dado por el IPCC 1996 volumen 6, página 6.16 </p>	<p data-bbox="821 293 1913 415">Para el cálculo de las emisiones de este módulo se empleó la metodología de <u>Nivel 2</u> del IPCC guías 1996. Con la información disponible para Cundinamarca fue posible realizar una aproximación metodológica de nivel 2 para 15 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales de Cundinamarca que cuentan con tratamiento de tipo anaerobio. Para obtener los datos de actividad se empleó una aproximación metodológica <u>Bottom-Up</u>:</p> <p data-bbox="821 448 1339 475">COMPONENTE ORGÁNICO DEGRADABLE (COD):</p> <p data-bbox="821 480 1913 594"><i>Bottom up:</i> Se empleó información de 15 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales con tratamiento anaeróbico, que reportaron información al registro único ambiental manufacturero (RUA). Dichos datos fueron suministrados por Estudios Ambientales del IDEAM, quienes entregaron valores promedio de volumen tratado m³/año y DQO kg/m³ (entrada), a partir de los cuales se realizó el cálculo de KgDQO/año, así:</p> <p data-bbox="821 610 1325 638">KgDQO/año = DQO kg/m³ * volumen tratado m³/año</p> <p data-bbox="821 670 1913 792">Nota: para la variable fracción de las aguas residuales tratadas por el sistema de tratamiento (Fr_{ST}), según información reportada el RUA, los tipos de tratamiento anaerobio existentes en Cundinamarca son tipo reactores y lagunas. Esta fracción para estos dos sistemas se calculó así: kg DQO tratadas en reactores/kg DQO total y kg DQO tratadas en lagunas / kg DQO total.</p> <p data-bbox="821 824 1192 852">CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE:</p> <p data-bbox="821 857 1913 1002">Se emplean las formulas A y B consignada en el Marco Teórico. El coeficiente de variación del dato de actividad está asociado al sistema de medición de la carga orgánica en cada planta de cada industria, quienes reportan el dato al IDEAM a través del RUA manufacturero; en el cálculo se asocia un porcentaje de error por cobertura de fuentes, teniendo en cuenta que a la fecha no todas las industrias manufactureras realizan dicho reporte. El coeficiente de variación asociado a las demás variables de cálculo se toma del IPCC 2006, volumen 4.</p>

4. Resultados y discusión de resultados

Se presentan los resultados del cálculo de las emisiones GEI para Bogotá y Cundinamarca y de la incertidumbre asociada a los resultados. Se realiza una descripción de resultados totales y la contribución por módulo y por GEI. Se describe por módulo las emisiones estimadas para las categorías contempladas en cada uno, incluyen aspectos relacionados con la consecución de la información requerida para el cálculo y su posible aplicabilidad en otras regiones. Se presenta también un gráfico de pareto con el fin de identificar sectores estratégicos para reducción de emisiones en Bogotá y Cundinamarca; una descripción general de los hallazgos en el inventario de emisiones de GEI 2008 efectuado por las SDA y aspectos relacionados con el cálculo de incertidumbre.

4.1. Resultados totales

Se estimó para la región de estudio Bogotá – Cundinamarca, un total de emisiones de GEI de 22.963 Gg de CO₂ equivalente, de los cuales 10.459 Gg son generados en el territorio de Cundinamarca y 12.508 Gg en Bogotá. Como se describió en el capítulo sobre metodología, las emisiones se calcularon para 4 módulos y sus respectivas categorías, según las fuentes sugeridas por el IPCC, que cubren el total de principales categorías emisoras de GEI, exceptuando las emisiones y absorciones generadas por el uso y cambio en el uso del suelo.

En la tabla 5.1 se presentan los resultados desagregados por categoría y por GEI calculado. La participación de cada uno de los 4 principales módulos sobre el total de emisiones en Gg de CO₂ equivalente se presenta en la figura 4.1:

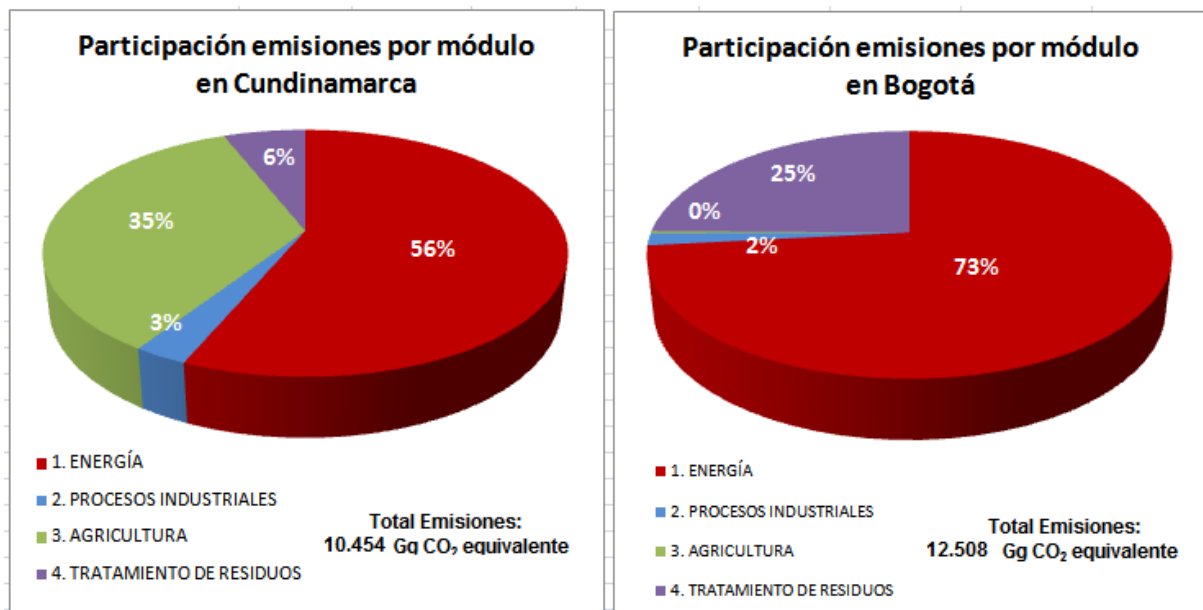


Figura 4.1. Participación por módulo sobre el total de emisiones en Gg de CO₂ equivalente para Bogotá y Cundinamarca.

	Cundinamarca (Gg CO ₂ equivalente)								Bogotá (Gg CO ₂ equivalente)							
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SUSTITUTOS SAO	TOTAL	σ	CV	Participación sobre el total	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SUSTITUTOS SAO	TOTAL	σ	CV	Participación sobre el total
2. PROCESOS INDUSTRIALES	257	1		38	296	±32	11%	3%				198	198	141	71%	2%
2.1. Producción de cemento	254,1				254	± 18	7%	2,4%								
2.3. Producción de vidrio	2,8				3	± 0	7%	0,0%								
2.4. Producción de coque		1,1			1	± 0	11%	0,0%								
2.5. Uso de Sustitutos SAO				38,1	38	± 27	71%	0,4%				198,0	198,0	±140,6	71%	1,6%
3. AGRICULTURA		1.717	1.917		3.634	± 719	20%	35%		37	0	-	38	5	13%	0,3%
3.1. Fermentación entérica		1616,9			1617	± 210	13%	15,5%		36,8			36,8	±4,8	13%	0,3%
3.2. Manejo del estiércol		83,1	127,7		211	± 101	48%	2,0%		0,6	0,2		0,8	±0,4	45%	0,0%
3.3. Arrozales anegados		16,9			17	± 5	28%	0,2%								
3.4. Quema de residuos agrícolas		0,2	0,1		0	± 0	19%	0,0%								
3.5. Suelos agrícolas			1788,9		1789	± 680	38%	17,1%								
4. TRATAMIENTO DE RESIDUOS		600	27		628	± 123	20%	6%		3022	82		3103	709	23%	25%
4.1. Disposición de residuos sólidos (en tierra)		569,6			570	± 120	21%	5,4%		2933,5			2934	±704	24%	23,5%
4.2. Tratamiento de las aguas residuales domésticas y comerciales		16,4	27,4		44	± 28	65%	0,4%		53,0	81,8		135	±85	63%	1,1%
4.3. Tratamiento de efluentes industriales		14,0			14	± 10	72%	0,1%		35,1			35	±16	45%	0,3%
TOTAL	Cundinamarca (Gg CO₂ equiv)				10.454	± 934	9%		Bogotá (Gg CO₂ equiv)				12.508	± 833	7%	



Gases no generados en cada actividad o actividades inexistentes en Bogotá o Cundinamarca

Como se observa en la figura 4.1, en Cundinamarca, el 56% de las emisiones son generadas por el empleo de combustibles fósiles con fines energéticos (módulo de Energía). Las emisiones generadas por actividades agropecuarias (módulo agricultura) se encuentran en segundo lugar y corresponden en un 53% a emisiones de N₂O y 47% emisiones de CH₄. Las emisiones de CH₄ y N₂O generadas en el tratamiento de residuos sólidos y vertimientos domésticos e industriales (módulo residuos), aportan un 6% del total y el menor aporte lo representan las emisiones de CO₂ emitidas durante los procesos de transformación de materias primas y las emisiones por empleo de sustitutos SAO (módulo procesos industriales).

En Bogotá, las emisiones generadas por actividad agrícola y por procesos industriales realizan un aporte no significativo, mientras que las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles representan el 73% de las emisiones totales, seguidas por el tratamiento de residuos con una participación del 25%. En este punto es importante recordar que las emisiones generadas por procesos industriales hacen referencia a las emisiones generadas durante el proceso de conversión de materias primas en productos y no por el empleo de combustibles para generar la energía necesaria para el proceso (estas últimas se cuantifican en el modulo de energía). En la figura 4.2 se presenta la contribución por cada GEI en cada módulo para Cundinamarca y Bogotá respectivamente.

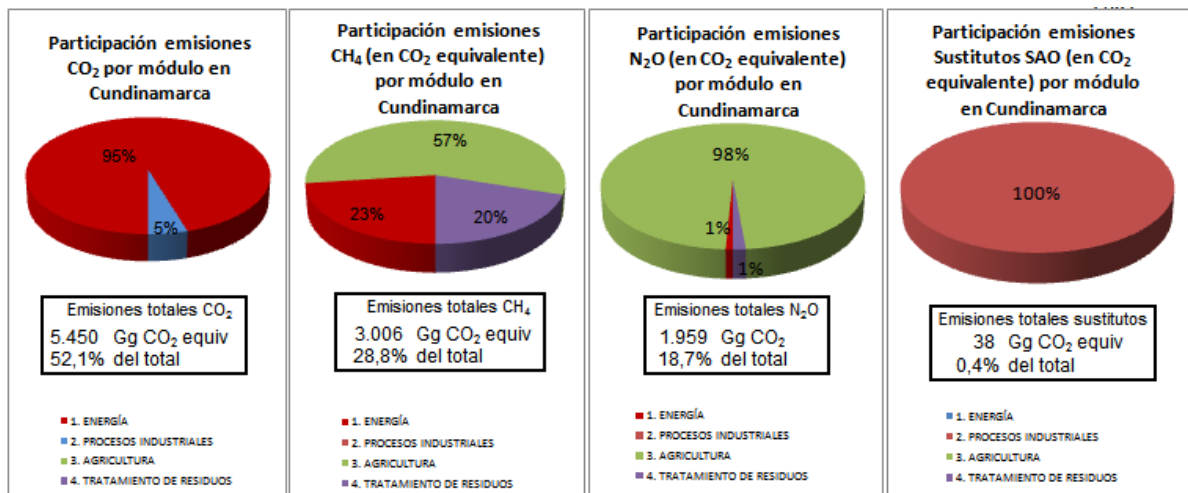
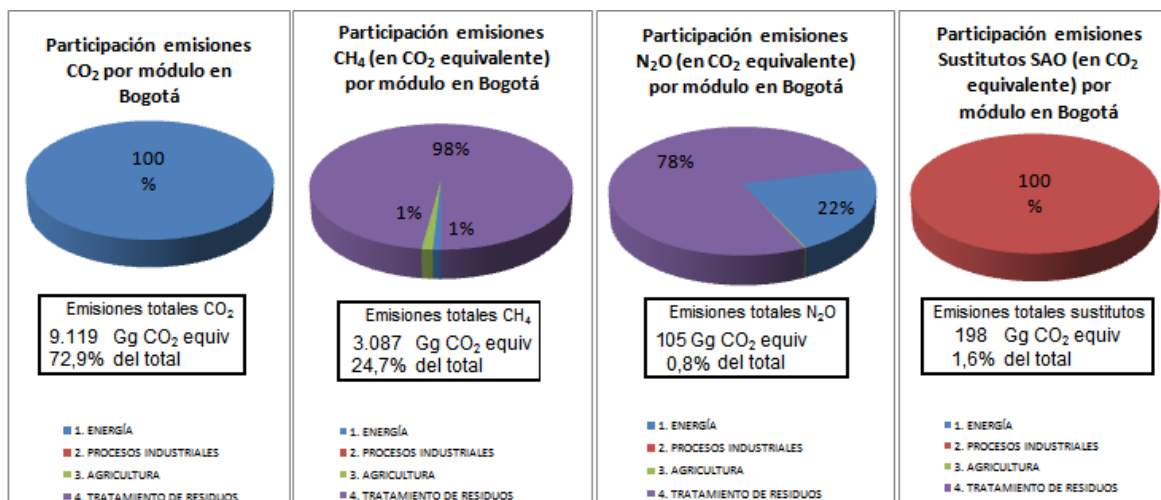


Figura 4.2. Contribución de cada GEI en cada módulo para Cundinamarca

Las emisiones de CO₂ en su mayoría corresponden a las generadas en el proceso de oxidación de los combustibles fósiles; las de CH₄ por fermentación, las de N₂O por suelos agrícolas (al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo) y las de sustitutos SAO en su totalidad al uso contabilizado en el módulo de procesos industriales. La contribución de la combustión de combustibles a las emisiones globales de CH₄ y N₂O es baja; y se deben a la combustión incompleta (en el caso del CH₄), los controles postcombustión y la temperatura de combustión y en el equipo. Dentro del módulo de energía para Cundinamarca también se encuentra un importante aporte de las emisiones fugitivas de metano de actividades de minería del carbón. La disposición de residuos sólidos en tierra,

dentro del módulo de residuos es el principal aporte de emisiones de CH_4 y las aguas residuales domésticas la de N_2O .

Para Bogotá, el 100% de las emisiones de CO_2 se genera por el módulo de energía, las emisiones de CH_4 están dadas en su mayoría por la disposición de residuos sólidos y las de N_2O por aguas residuales domésticas; notándose que la contribución de estos gases por módulo cambia respecto a la contribución en Cundinamarca; aspecto debido a la ausencia de actividad agropecuaria representativa en Bogotá.



Los resultados encontrados, son coherentes con las principales actividades económicas desarrolladas en Bogotá y Cundinamarca, y otras variables como el total de la población y el parque automotor. Para realizar un análisis más amplio de este aspecto se realiza una discusión por módulo en el numeral 4.2.

4.2. Resultados módulo de energía

En la figura 4.4 se presentan las participaciones de emisiones de cada categoría de fuente comprendidas dentro del módulo de energía en Cundinamarca y en la 5.5 las participaciones en Bogotá.

Del total de emisiones en Gg de CO_2 equivalentes calculadas para el módulo de energía en Cundinamarca, el 88,1% corresponde a emisiones de CO_2 , 11,7% emisiones de CH_4 y 0,3% emisiones de N_2O . Dentro de este módulo se tienen en cuenta las emisiones generadas durante los procesos de combustión de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas de CH_4 durante las actividades mineras de carbón (98% del total de emisiones de CH_4 dentro del módulo), razón por la cual la participación de emisiones de este gas es considerablemente superior a las de N_2O . Para Bogotá en cambio, la participación de emisiones por gases es

99,4%CO₂, 0,3% CH₄ y 0,3% N₂O, dado que no se realiza actividad significativa de minería de carbón.

Como se observa de las figuras 4.4 y 4.5, la principal actividad generadora de emisiones GEI en Bogotá y en Cundinamarca es el consumo de combustibles fósiles en el sector transporte por carretera. Este sector en muchos países aporta la mayor cantidad de emisiones GEI, dado que es uno de los principales consumidores de combustibles en cada economía nacional, y a nivel local y regional resultan representativas las ciudades que concentran gran parte del parque automotor si se asume que las emisiones se generan en el territorio en donde es vendido el combustible, ventas que están altamente ligadas a la cantidad de automotores registradas en cada departamento y ciudad. La región Bogotá - Cundinamarca agregaba en el año 2008 aproximadamente el 30% de los automotores carreteros de Colombia (Ministerio de Transporte, 2012) y consumió aproximadamente el 27% de la energía total empleada por el sector transporte en el país (UPME, 2010), lo que conlleva a un importante aporte de este sector en la región Bogotá - Cundinamarca en cuanto a emisiones en el total de emisiones nacional por esta actividad, y ubica al sector como estratégico y prioritario para la investigación y adopción de opciones de mitigación.

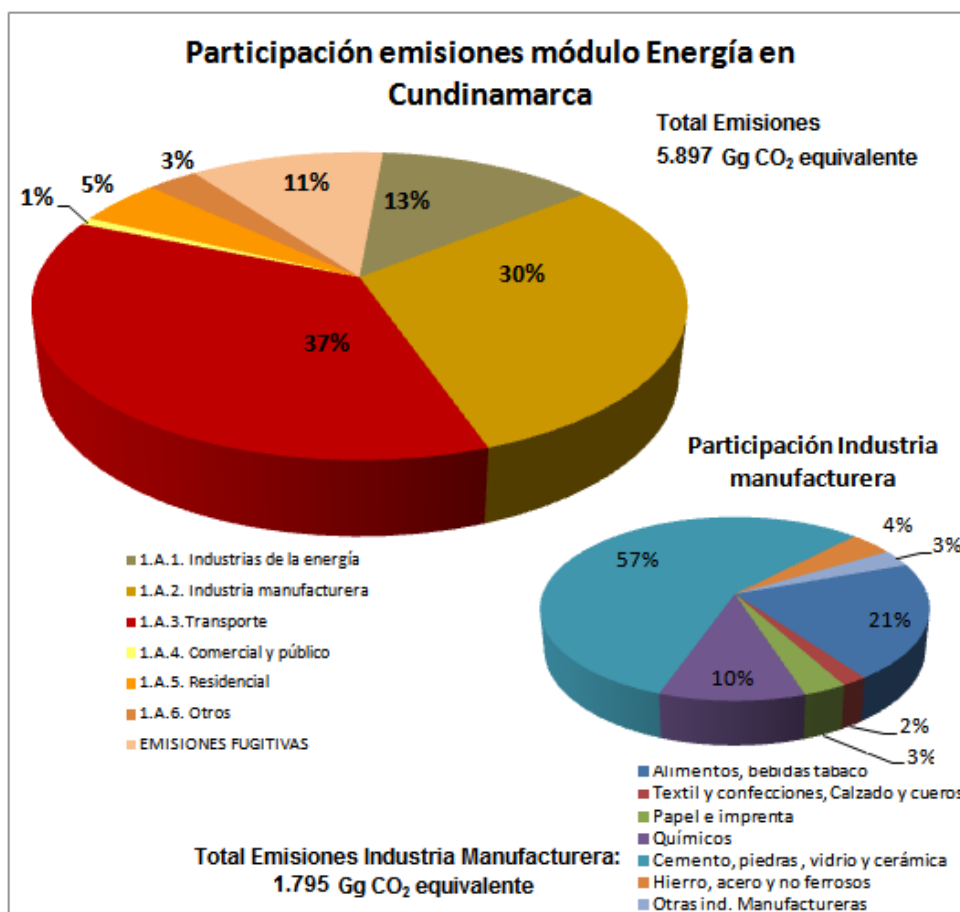


Figura 4.4. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Energía en Cundinamarca

Es importante mencionar que dentro de las emisiones del sector transporte reportadas para Bogotá, se encuentra un 5% de emisiones aportadas por el transporte aéreo, valor tomado del inventario de emisiones GEI para Bogotá realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente para el año 2008. El cálculo fue realizado bajo metodología IPCC, asumiendo que las emisiones por esta actividad se le deben imputar a la región en donde es vendido el combustible empleado. Bajo esta premisa se realizó el cálculo tomando los datos de consumo de combustibles para vuelos nacionales y factores por de emisión por defecto IPCC. Se tomó este dato del inventario de la SDA teniendo en cuenta que bajo esta investigación no fue posible encontrar dichos consumos y porque de la revisión del anexo técnico se encontró que el cálculo comparable con las metodologías empleadas en el presente trabajo.

Para efectos del cálculo de las emisiones de sector transporte por carretera, se emplearon los factores de emisión suministrados por el IPCC (metodología nivel 1), teniendo en cuenta que no existen factores validados a nivel local y a que la UPME como entidad rectora en el tema en el país, en mesas de trabajo para la elaboración de inventarios a nivel nacional definió pertinente el empleo de dichos factores; la posible diferencia en cuanto al contenido de carbón respecto a los carbones Colombianos, se refleja en el cálculo de incertidumbre. Resultó entonces ser el dato de actividad el paso controlante en el cálculo; en cuanto a las fuentes de información sobre consumos de combustibles en la región, se estableció que la más confiable es el registro de ventas de cada distribuidor; sin embargo, no fue posible acceder a toda la información por esta vía debido al gran número de distribuidores en la región y al carácter privado de estos que registre el acceso a la información; también se consultó a ECOPETROL quienes reportan el dato de ventas a nivel nacional pero no lo presentan a nivel departamental.

En consenso con la UPME se determinó que a través del cobro a sobretasa a los combustibles líquidos era posible obtener los consumos con alto grado de certidumbre y que para gas natural la CREG recopilaba información de ventas de cada distribuidor; dado que estas fuentes centralizan la información desagregada por departamento y con bajo grado de incertidumbre, se seleccionaron para efectuar el cálculo bajo metodología *Bottom-Up* (datos regionales, recopilados a través de informes de los consumidores y distribuidores puntuales), esperando que pueden ser empleadas para realizar los inventarios de este sector en las otras regiones del país. Es importante mencionar que para obtener información más detallada que permita una mejor orientación a las estrategias de mitigación, es necesario en cada región, buscar determinar los consumos por tipo de transporte y edad del parque automotor.

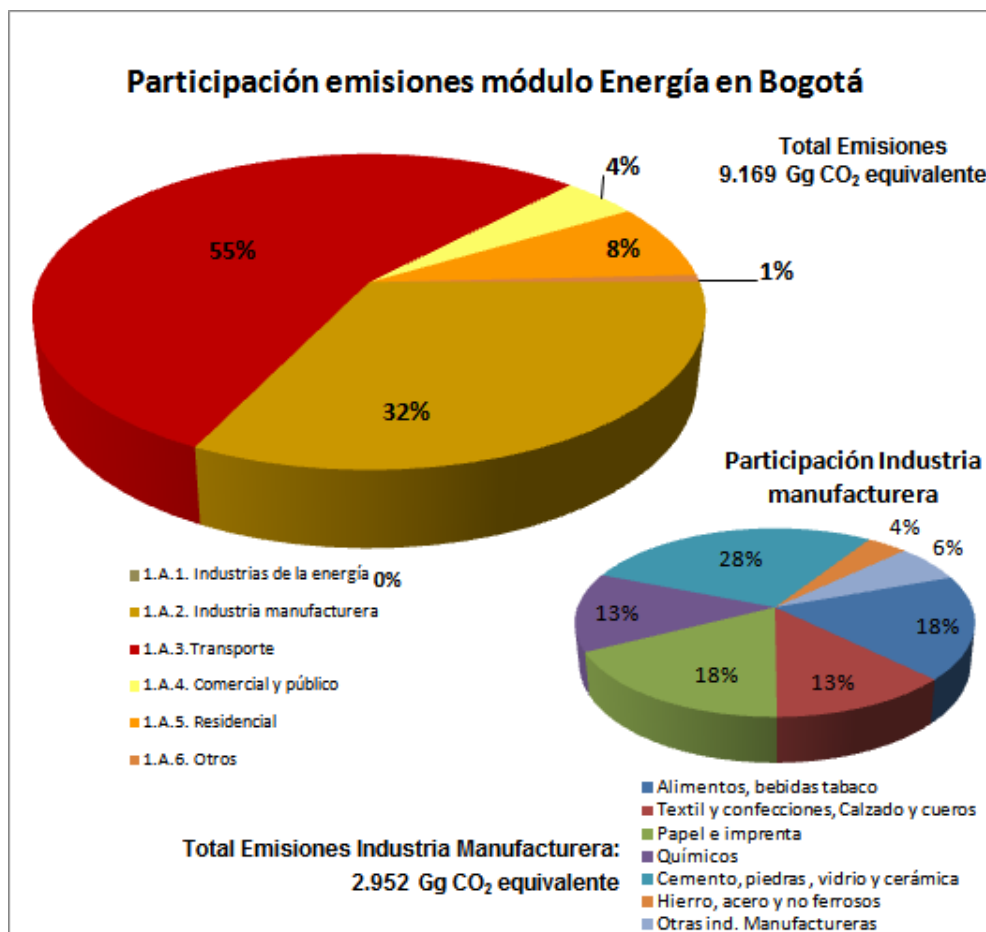


Figura 4.5. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Energía en Bogotá

En segundo lugar, tanto para Cundinamarca como para Bogotá, y de forma coherente con la importante participación del PIB manufacturero en la región, se encuentran las emisiones del sector de industrias manufactureras. Este sector ocupa el cuarto lugar en cuanto aporte del PIB en Bogotá con una participación del 13% (luego de sectores no intensivos en uso de combustibles como lo son comercio, establecimientos financieros y actividades inmobiliarias, y actividades de servicios sociales) y respecto al PIB manufacturero nacional, la capital se ubica en primer lugar con una participación del 22% para el año 2008. En Cundinamarca esta actividad es la rama económica más representativa, aporta el 25% del PIB departamental y con relación al nivel nacional aporta cerca del 5 %, lo que constituye la quinta economía regional en importancia en el país después de Bogotá, Antioquia, Valle y Santander. En cuanto a consumos de combustibles y según cálculos de este estudio, el sector empleó aproximadamente el 32% de la energía total consumida en la región en el 2008 (excluida la energía eléctrica). Las estrategias de mitigación en este sector resultan entonces importantes a nivel local y nacional y deben orientarse sobre los principales sectores manufactureros generadores.

Para Cundinamarca y Bogotá, tal como se observa en las figuras 4.4 y 4.5, las industria manufacturera más representativa en emisiones son las agregadas bajo el código CIIU 26: Cemento, piedras, vidrio y cerámica, seguida por CIIU 15 Y 16: Alimentos, bebidas y tabaco que en total representan el 77% para Cundinamarca y el 46% para Bogotá; al respecto es importante señalar que la industria cementera es inexistente en Bogotá y que las emisiones son aportadas por el consumo de combustibles con fines energéticos en los sectores piedras, vidrio y cerámica (razón por la cual el aporte es menor que el de Cundinamarca). Resultan también importantes para Cundinamarca, el consumo de energía en la industria con código CIIU 24: Químicos (10%) y en Bogotá las industrias CIIU 21 Y 22: Papel e imprenta (18%), CIIU 24: Químicos (14%) y CIIU 17 a 19: Textil y confecciones, Calzado y cueros (13%); encontrando que en Bogotá existe un mayor número de sectores aportantes y en Cundinamarca el 87% de las emisiones está concentrado en tan solo 3 sectores, lo cual es coherente con el número y diversidad de industria existente en la ciudad capital, mientras que en el departamento el principal consumo y por lo tanto emisiones están dadas por la presencia de las pantas cementeras (en el ítem de procesos industriales se detallan mas aspectos sobre esta industria en Cundinamarca).

Los factores de emisión empleados en el cálculo para este sector, bajo las mismas consideraciones que para el sector transporte, fueron los reportados por defecto por el IPCC (metodología nivel 1). En cuanto a los datos de actividad, se encontró que no existe un sistema o fuente de información que recopile o permita determinar consumos de todos los combustibles en el sector de la industria manufacturera a nivel departamental. Se consultó con ECOPETROL la posibilidad de desagregar los datos que reportan sobre ventas a nivel nacional, pero no se obtuvo respuesta satisfactoria, de igual forma, la UPME efectúa el cálculo a nivel nacional y no posee datos ni metodología definida para obtenerlos a nivel local; también se encontraron reportes de consumo de gas natural en la CREG pero el total nacional difería en más del 60% del total reportado en el BEN, según consulta con expertos, porque no todas las industrias reportan, a diferencia de las ventas de GNV en donde se tiene más control por estar centralizada la información en los distribuidores.

La recolección de información de consumos en este sector por fuente puntual requiere de altos recursos financieros, humanos y de tiempo dado el importante número de empresas del sector. Se cuenta con información de consumos recolectada para estimar los inventarios de emisiones de contaminantes criterio efectuadas por las autoridades ambientales respectivas en convenio con otras entidades, sin embargo estos no abarcan el total de empresas y el procesamiento de la información resultó dispendioso, principalmente por datos faltantes en las respectivas bases de datos; se efectuó un cálculo para Bogotá y Cundinamarca con dichos datos con el respectivo diseño preliminar de una metodología para “calcular faltantes”, el cual se elaboró en conjunto con esta investigación y corresponde al trabajo para opción de grado en ingeniería química de la estudiante Angélica Rojas bajo la dirección del Ingeniero Rodrigo Jiménez y la metodología y resultados preliminares se presenta en el anexo 4; sin embargo para efectos de este estudio, y en aras de dar cumplimiento al objetivo de diseño de metodologías para regionalizar datos de actividad que puedan ser empleados en otras regiones del país, fue necesario proponer el empleo de una metodología *Top-Down* (descrita

en el cuadro 3.1) que pueda ser de fácil aplicabilidad en otros departamentos y que represente un método importante en términos de costo-eficiencia.

La metodología Top Down propuesta y empleada en el cálculo se basa en determinación de consumos locales a partir del indicador de Intensidad Energética nacional (TJ/\$)⁷, calculado a partir de datos de consumos nacionales de combustibles en las industrias manufactureras registrados en el BEN y de los valores agregados (\$) nacionales y departamentales de las cuentas nacionales del DANE (metodología descrita en el capítulo sobre metodología), esta metodología ha sido propuesta en otros países para realizar inventarios regionales (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal México, 2006; SERD, 2000). El principal supuesto es asumir relación directamente proporcional entre el valor agregado de un sector y el consumo de combustibles, aspecto que fue tenido en cuenta en el cálculo de incertidumbre, asociando un porcentaje atribuido al modelo.

Para Cundinamarca, en tercer lugar se encuentran las emisiones generadas por el empleo de combustibles fósiles para generación eléctrica; actividad inexistente en Bogotá. En el departamento se ubican 8 centrales administradas en su totalidad por EMGESA; 7 son hidroeléctricas que no emplean combustibles fósiles en su actividad y 1 central térmica que funciona con carbón mineral (información tomada de la página de EMGESA). Al ser una única termoeléctrica, fue posible obtener información sobre consumo de la fuente puntual, lo que reduce la incertidumbre en el cálculo y permite desarrollar una metodología *Bottom-Up* y se asume que así mismo es posible la consecución de información en otras regiones, dado que el número de fuentes es moderado. Otra actividad inexistente en Bogotá y que representa el cuarto lugar en emisiones de GEI para Cundinamarca, es la actividad minera de carbón que genera emisiones fugitivas de metano. Los datos de producción de carbón por tipo de sistema (a cielo abierto o subterráneo) pueden ser obtenidos del sistema de información minero de la UPME disponible en su página de internet, que reporta datos por departamento que pueden ser empleados para el cálculo de emisiones regionales por esta actividad bajo metodología *Bottom-Up*, nivel 1 empleando los factores de emisión dados por defecto por el IPCC dado que no existen o no han sido difundidos factores de emisión locales para emisiones fugitivas en actividades de minería de carbón.

Las emisiones generadas por el consumo de combustibles en actividades comerciales y en el sector residencial son las de menor aporte del módulo, tanto para Cundinamarca como para Bogotá con una participación del 12% y 6% respectivamente. Los principales combustibles empleados en estos sectores son el gas natural y el gas licuado de petróleo, y los consumos se obtiene del SUI que recopila la información de los distribuidores con un error considerado bajo de donde es posible obtener los datos desagregados por departamento para el cálculo de las emisiones de estos sectores en cada región. Los valores más bajos obtenidos para Cundinamarca, 291 Gg CO₂ eq vs 712 Gg CO₂ eq en el sector residencial sugieren una dependencia de los consumos de GN y GLP con el total de la población, encontrando indicadores similares: 0,0019 TJ/habitante para Cundinamarca y 0,0016 TJ/habitante en Bogotá, de igual forma los valores en el sector comercial de 46 Gg CO₂ eq vs 397 Gg CO₂ eq

⁷ La intensidad energética mide cuánta energía requiere cada país o región para generar una unidad de PIB. World Energy Council (2004)

sugieren dependencia de los consumos con el PIB para el sector comercio, encontrando indicadores similares 0,2 TJ/\$ en Cundinamarca y 0,3 TJ/\$ en Bogotá; por esta razón se propone una metodología *Top-Down* para determinar los consumos regionales de los demás combustibles (petróleo, diesel, fuel oil) en estos sectores, basados en PIB y en N° de habitantes (metodología descrita en el cuadro 3.1), asociándole a los resultados un error dado por el modelo.

4.3. Resultados módulo de procesos industriales

Del total de emisiones en el módulo de procesos industriales, el 87% corresponde a emisiones de CO₂ y el 13% restante a emisiones de sustitutos SAO (HFC – 152a, HFC – 134a). En Bogotá el 100% corresponde a emisiones de sustitutos SAO (HFC – 152a, HFC – 134a).

En la figura 4.6 se presenta el aporte realizado por cada uno de los procesos considerados en el módulo en Cundinamarca y Bogotá respectivamente.

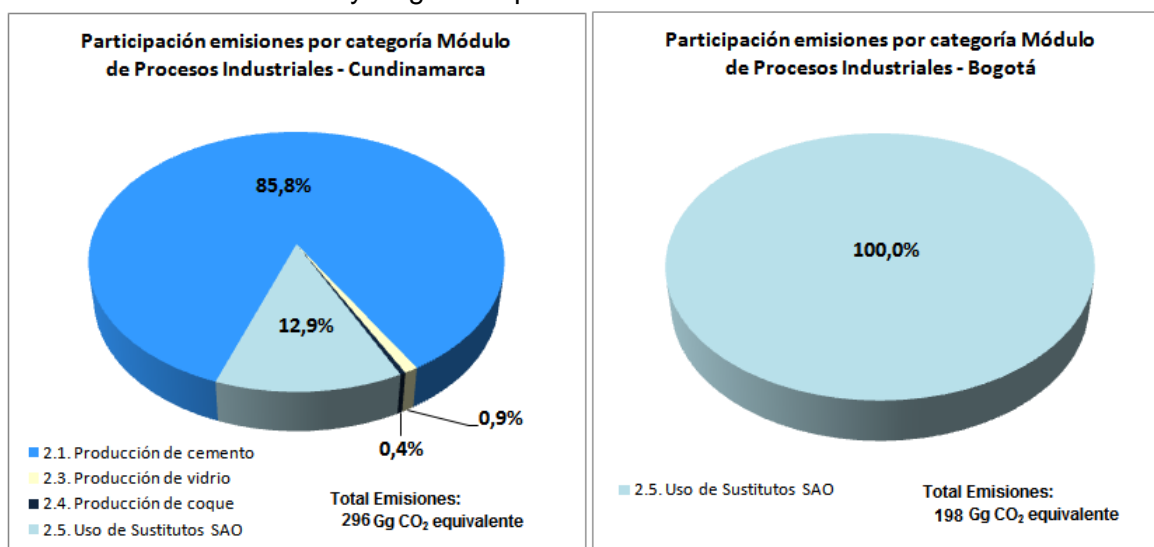


Figura 4.6. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Procesos Industriales

Es importante, en primer lugar recordar que en este módulo se contabilizan las emisiones generadas en la transformación de materias primas a productos y no las emitidas en la generación de energía para el proceso, las cuales se contabilizan en el módulo de energía. De las industrias generadoras de GEI por proceso listadas por el IPCC (ver grafico procesos industriales marco teórico), existen en la región: producción de cemento, producción de vidrio y producción de coque; en los dos primeros procesos se generan emisiones de CO₂ por la calcinación de los carbonatos presentes en la materia prima y en el proceso de coque se generan emisiones de CH₄. También se contabilizan dentro de este módulo las emisiones generadas por el uso de sustitutos SAO en distintas aplicaciones como refrigeración y aire acondicionado; extinción de incendios y protección contra explosiones; propulsores;

solventes; limpieza con solventes; entre otros. En Colombia el sustituto SAO de mayor importación es el HFC-134A, el cual constituye el 99% de importaciones totales nacionales en cuanto a sustitutos SAO y es usado principalmente en refrigeración doméstica, refrigeración comercial, procesamiento de alimentos, refrigeración industrial, transporte refrigerado y aire acondicionado portátil; razón por la cual se asume que en la región también existen dichos usos.

El proceso de producción de cemento, genera el 86% de las emisiones del módulo en Cundinamarca. La producción se realiza en las siguientes plantas: Santa Rosa de Cemento en la Calera (Cementos Samper), una planta ubicada en Cogua bajo la razón social de cementos Diamante S.A., una planta de cementos Titán S.A. en Cota y la planta de Argos en Cajicá. Según datos de producción reportados por el DANE, la participación de Cundinamarca en la producción Nacional es en promedio del 4,7%. Este sector industrial representa una interesante alternativa de evaluación de opciones de mitigación dado que además de generar emisiones por proceso, se constituye en uno de los principales consumidores de combustibles con fines energéticos (ver resultados módulo de energía). La información requerida para el cálculo se encuentra en la Encuesta anual Manufacturera reportada en la página del DANE, en donde es posible obtener datos por departamento para realizar el cálculo en las demás regiones del país.

El empleo de sustitutos SAO representa para Bogotá el 100% de las emisiones y para Cundinamarca el 13%. El aporte significativo se debe principalmente a los altos potenciales de calentamiento global de las sustancias consideradas (HFC – 152a: 120 y HFC – 134a: 1.300). Esta participación resulta importante dentro del módulo pero representa respecto a las emisiones totales un 0,4% en Cundinamarca y un 2% en Bogotá. Para la estimación de estas emisiones se empleó una aproximación *Top-Down* descrita en el cuadro 4.1, con base en el PIB total de la región y nacional y el total nacional de importaciones reportado por el Ministerio de Comercio en su base de datos BACEX, la cual tiene asociado un alto valor de incertidumbre; sin embargo se constituye en una primera aproximación y se espera que a través de una futura investigación se pueda obtener una metodología que contemple por ejemplo el resultado del estudio de caracterizar el uso de HCFCs en refrigeración y aire acondicionado en Colombia adelantado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia en convenio con la Unidad Técnica de Ozono –UTO- del MADS, de tal forma que conlleve a la obtención de resultados con menor incertidumbre, y que sea aplicable en cada región del país.

La producción de vidrio, se encuentra ubicada en Cogua en la productora de vidrio plano de O-I Peldar, compañía que hace parte de la multinacional Owen-Illinois. La planta es la única en el país que produce vidrio plano, razón por la cual este cálculo no debe realizarse en las demás regiones del país. Según reporta O-I Peldar en la planta de Cogua usan de un 26% a un 30 % de vidrio reciclado, 22 % producto interno y un 4% de vidrio reciclado que se compra en la calle y un aporte de materia prima con contenido de carbonatos (OSSMA. 2012).

4.4. Resultados módulo de agricultura

Las emisiones del módulo de agricultura, corresponden para Cundinamarca en un 53% a emisiones de N₂O (principalmente por los suelos agrícolas) y un 47% emisiones CH₄ (en su mayoría por fermentación entérica del ganado). La participación por gas en Bogotá es de 99% CH₄ (por fermentación entérica y manejo del estiércol) y 1% N₂O (manejo del estiércol). En la figura 4.7 se presenta la participación por cada categoría en el modulo de agricultura.

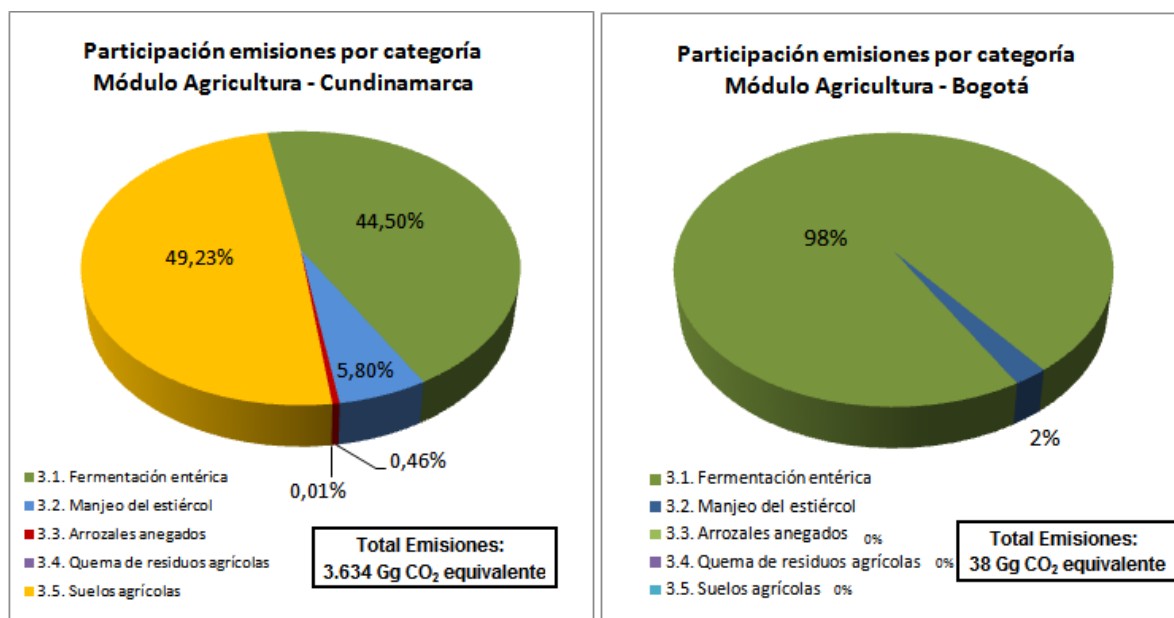


Figura 4.7. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Agricultura

El área de suelo rural de Bogotá (122.271 ha) corresponde a un 75% del total y se encuentra principalmente en las localidades de Sumapaz (78.095 ha), Usme (18.483 ha) y Ciudad Bolívar (9.608 ha). Aunque se presenta un área considerable rural, la actividad agropecuaria es mínima y el valor agregado aportado por la rama de actividad Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca tan solo el 0,03% del PIB total de Bogotá (año 2008); aspecto coherente con el aporte no significativo (0,3%) de las emisiones de este módulo en el total calculado para Bogotá. Las emisiones reportadas son las de metano generado por el ganado en la localidad.

No se registran emisiones por arrozales anegados (cultivo inexistente en Bogotá) y quema de residuos agrícolas (práctica no identificada). En concordancia con la escasa área de uso agropecuario de Bogotá, las emisiones de la categoría de suelos agrícolas se atribuyeron en su totalidad al territorio de Cundinamarca, dado que no fue posible obtener datos de hectáreas sembradas y área de cultivos en suelos histosoles de manera desagregada para Bogotá-Cundinamarca.

En Cundinamarca, la superficie de suelo rural equivalente a 2.209.132 ha de las cuales, en promedio el 9,2% se dedica a usos agrícolas, el 72% a usos pecuarios, un 15,8% a bosques y el 2,9% a otros; las cifras muestran una importante vocación agropecuaria en el territorio,

encontrando que dichas actividades son desempeñadas aproximadamente por un 34,4% de la población del Departamento (Secretaría de Planeación Cundinamarca, 2011). Este hecho sustenta la participación del 35% de las emisiones del módulo calculadas para Cundinamarca. A nivel nacional el departamento representa un total del área con uso agrícola del total del país del 5% (ocupando un 5to lugar) y una participación en producción de 13%, lo que indica una actividad significativa a nivel nacional (Ministerio Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombia Internacional, 2008).

El N_2O generado por las emisiones directas e indirectas de suelos agrícolas en Cundinamarca representa el principal aporte con un 17% del total. La mayor participación en las emisiones directas lo aporta el nitrógeno del estiércol del ganado (34%) y de los residuos de las cosechas (29%); de las emisiones indirectas el mayor aporte es por la deposición atmosférica del N como NH_3 y Óxidos de Nitrógeno (NO_x) (99%). Las emisiones de CH_4 generadas por la fermentación entérica aportan el 15%, principalmente por el ganado bovino cuya explotación representa el 78% de la actividad pecuaria del Departamento. Se encuentran cultivos de arroz seco y riego en los municipios de Beltrán, Girardot, Partebueno, Ricaurte, San Juan de Río Seco, Tocaima, y prácticas poco comunes de quema de residuos de maíz en campo; el aporte de emisiones por estas dos actividades representa tan solo el 0,2% de las emisiones del módulo. De los resultados para este módulo se concluye la importancia de estudiar prácticas de manejo agropecuario que conlleven a una reducción de las emisiones de GEI en el departamento.

Para la mayoría de categorías se emplearon factores de emisión por defecto IPCC (nivel 1). Para el cálculo de emisiones de fermentación entérica por ganado bovino se empleó un factor local (cálculo de nivel 2) reportado por el IDEAM tal como se describió en el cuadro 4.1. La información sobre datos de actividad, se encontró de forma puntual para cada categoría de fuente en el Departamento, permitiendo realizar un cálculo con metodología *Bottom-Up* según se describió en el capítulo sobre metodología. Las fuentes de información empleadas corresponden básicamente a estadísticas agropecuarias de entidades del estado del orden nacional y local y estadísticas de asociaciones que generan la información desagregada por departamentos, lo cual sugiere que es posible para las demás regiones del país obtener fuentes de información regionales.

Únicamente para efectuar el cálculo de aportes de nitrógeno al suelo por utilización de fertilizantes sintéticos nitrogenados en la categoría de suelos agrícolas, fue necesario realizar aproximación *Top-Down* (descrita en el capítulo sobre metodología), la cual se basa en indicadores de consumo de fertilizantes por hectárea calculados a partir de información nacional de venta total de fertilizantes sintéticos nitrogenados y total de hectáreas sembradas en Colombia. El empleo de fertilizantes depende del tipo del cultivo, sistemas de cultivos y de los requerimientos de nutrientes por tipos de suelo en cada región. La metodología empleada asume que dichos aspectos son similares para todas las regiones y por lo tanto es necesario tener en cuenta esta aproximación en el cálculo de la incertidumbre de los resultados calculados. Para efectos del cálculo se establece como una aproximación válida teniendo en cuenta que la aplicación de fertilizantes se realiza por hectárea sembrada y que

Cundinamarca, por su diversidad geográfica, posee la mayoría de cultivos que existen en Colombia (excepto Cocotero, Fique, TABACO y Ñame), es decir que se requiere fertilizante para los mismos cultivos que requiere el nivel nacional. Finalmente es importante señalar que la FAO reporta para cada país el indicador “intensidad de uso de fertilizantes” en toneladas/1000 ha, dentro de los indicadores de Tierras agrícolas – uso de agroquímicos.

4.5. Resultados módulo de residuos

Para Cundinamarca, el aporte por gas en las emisiones totales es de 96% CH₄ y 4% N₂O y en Bogotá 97% CH₄ y 3% N₂O. El aporte de cada categoría contemplada en el módulo se presenta en la figura 4.8.

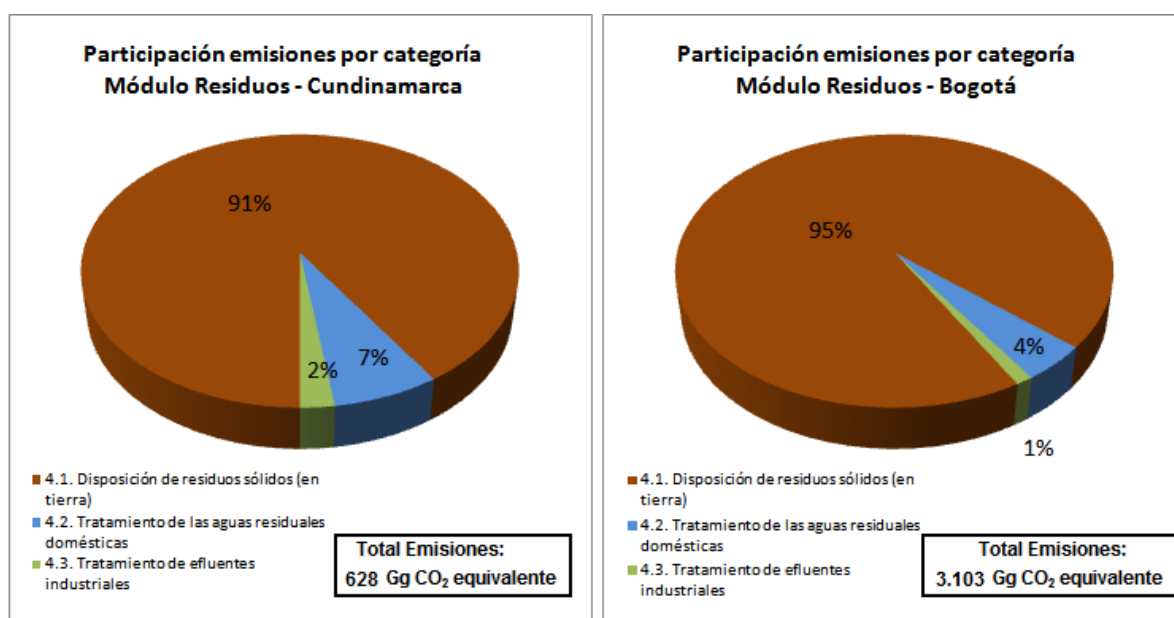


Figura 4.8. Participación emisiones por categoría de fuente en el módulo de Residuos

La disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios es la principal fuente generadora de metano en este módulo; con un aporte del 95% en Bogotá y del 91% en Cundinamarca. Las emisiones generadas en Bogotá son aproximadamente 5,2 veces las emisiones generadas en Cundinamarca, dado que estas dependen de la cantidad de residuos dispuesta en cada relleno y, por lo tanto, del total de la población. En Bogotá se ubica el relleno sanitario Doña Juana en donde se disponen los residuos generados por aproximadamente el 98% de la población Bogotana; En Cundinamarca existen 2 rellenos sanitarios regionales (Nuevo Mondoñedo y Praderas del Magdalena) y 3 rellenos locales ubicados en Chocontá, Cucunuba, Villapinzón. Estos 5 rellenos reciben los residuos de 101 municipios del Departamento y los 15 restantes los disponen en rellenos ubicados en Meta, Caldas y Boyacá. Por las especificaciones técnicas y modo de operación solo los rellenos Doña Juana y los 2 regionales se consideran tecnificados y para el año del inventario 2008 no se realizaba recuperación de metano en ninguno. Se encuentra que existe un interesante potencial de

proyectos de mitigación por esta fuente, dado que a la fecha solo se han presentado proyecto MDL para la recuperación de biogás en los rellenos Doña Juana y Praderas de Magdalena (aprobados en 2009 por el MADS); existiendo un potencial de captura en el relleno Nuevo Mondoñedo que recibe en promedio 1301,41 ton/día y la posibilidad en los rellenos locales de mejorar condiciones técnicas (incluida captura de metano) y ampliar cobertura a otros municipios.

Las emisiones durante el tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas corresponden al 7% de las emisiones en Cundinamarca y el 4% en Bogotá. Estas emisiones son más altas en Bogotá en un factor de 3,1 y también están asociadas al número de la población y al tipo de tratamiento. Las aguas residuales generadas en Bogotá son recolectadas y transportadas por el sistema de alcantarillado (cerrado y en su mayoría subterráneo), para posteriormente ser vertidas a los cuerpos de agua que conforman la red hidrográfica de Bogotá; 4 m³/segundo son tratados en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre atendiendo tan solo a una población de 2.200.000 habitantes. La PTAR El Salitre cuenta con 3 digestores anaeróbicos y diariamente, se producen alrededor de 13.500m³ de biogás, el cual se almacena en un gasómetro, y se utiliza de para calentar el lodo en los mismos biodigestores. En promedio se consume un 35% del biogás generado y el exceso de biogás se quema en una tea. Es importante señalar entonces, que las emisiones calculadas se reportan a manera de información, dado que el CH₄ no se está emitiendo como tal a la atmósfera.

En Cundinamarca, el 86% de viviendas urbanas cuenta con sistema de alcantarillado y según información de la CAR y de la SISPD, para su tratamiento existen 25 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARS) que cuentan con tratamiento de tipo anaerobio (lagunas y reactores); según reporte de la CAR, en 14 de estas no se realiza quema de biogás ni es empleado con otros fines; para el resto de las plantas se desconoce este aspecto, aunque un experto de la SISPD señala que esta práctica no es común en los pequeños prestadores. Resulta importante investigar y verificar este aspecto y realizar un estudio de costo/beneficio en el aprovechamiento de gas de estas plantas que pueda conducir a la implementación de estrategias de mitigación.

La información requerida para el cálculo de emisiones por tratamiento de residuos sólidos está disponible de manera local a través de varias fuentes de información confiables, como las autoridades ambientales, las operadoras de cada relleno y los informes anuales sobre gestión de residuos sólidos publicados por la SISPD, la diferencia en datos entre fuentes de información es menor al 2%. En este sentido, para todas las regiones es posible realizar el cálculo *Bottom-Up* con información regional para esta categoría.

La SPISPD recopila información sobre grandes y pequeños prestadores de servicios de alcantarillado y es posible obtenerla información sobre aguas residuales domésticas por regiones realizando la respectiva solicitud; sin embargo, se encuentra que tiene mayor cobertura y seguimiento a las variables requeridas por el cálculo, la información suministrada directamente por las operadoras de las diferentes PTAR. En ese sentido se puede contar en

cada región con información para efectuar el cálculo *Bottom-Up*, realizando una revisión de la fuente de información más completa. En todos los casos, la información presenta un grado de incertidumbre medio, asociado principalmente a los métodos de medición in situ de las diferentes variables de cálculo.

La recolección de la información para el cálculo de emisiones por tratamiento anaerobio de vertimientos industriales, resulta un proceso complejo, dado que el número de fuentes es significativo y, a la fecha, tan solo algunas industrias cuyos vertimientos se consideran peligrosos son monitoreadas por las autoridades ambientales. Desde el año 2010 se implementó el Registro Único Ambiental Manufacturero –RUA-; se espera que a través de este instrumento administrado por el IDEAM sea posible recopilar la información necesaria para el cálculo por departamentos.

Por otra parte, con los resultados totales de emisiones GEI para la región año 2008, se calcula un indicador de emisiones per cápita para Cundinamarca de 4,37 Ton CO₂ eq /hab/año y para Bogotá de 1,7 Ton CO₂ eq /hab/año. Este indicador se considera injusto para Cundinamarca, por cuanto su actividad económica provee de bienes y servicios a la ciudad de Bogotá. Por lo tanto se establece la necesidad de profundizar en el análisis del “metabolismo urbano de Bogotá”, incluyendo emisiones asociadas a patrones de consumo (como por ejemplo al consumo de energía eléctrica), esto teniendo en cuenta el tamaño de la población y su importancia socioeconómica que sugieren indicadores de emisiones per cápita mayores al estimado por la metodología contemplada.

El último inventario nacional de GEI oficialmente publicado por el IDEAM corresponde al año 2004, con un total de emisiones GEI para el país de 180.008 Gg de CO₂ equivalente, a partir del cual se calcula un índice de emisiones per cápita de 4,250 Ton CO₂ eq /hab/año; dicho indicador se encuentra dentro del valor promedio estimado por el IPCC para países no anexo 1 de la CMNUCC. Es importante mencionar que dicho indicador incluye las emisiones generadas por el uso y cambio en el uso del suelo, emisiones no tenidas en cuenta en el inventario regional Bogotá – Cundinamarca.

El IDEAM, actualmente está realizando la estimación de las emisiones GEI para la serie de tiempo 1990 a 2008; dichos resultados están en proceso de revisión y serán publicados en el marco de la tercera comunicación nacional de Colombia ante la CMNUCC. Se realizó la gestión necesaria para contar con los resultados nacionales calculados para el año 2008, y aunque se conocieron dichos cálculos, el acuerdo de confidencialidad no permite publicar ni hacer mención de dichos resultados antes de ser oficialmente publicados, razón por la cual no es posible establecer comparaciones del inventario regional 2008 respecto a los resultados nacionales para el 2008. Cualitativamente se puede afirmar que los resultados obtenidos bajo este estudio guardan coherencia con los resultados nacionales para el 2008.

4.6. Inventario emisiones GEI SDA 2008

Teniendo en cuenta que la SDA realizó para Bogotá un inventario de emisiones de GEI para el año 2008, se efectuó una revisión de la metodología empleada con el propósito de verificar si es comparable con la aplicada en esta investigación y así poder integrar los resultados con los obtenidos para el departamento y unificar el inventario de la región Cundinamarca – Bogotá de forma coherente. De la revisión se encontró que solo era posible integrar los datos para el módulo de Residuos dado que emplean la misma metodología y consideraciones que para el cálculo de emisiones en este módulo en el inventario de Cundinamarca. Así mismo se integró el resultado para el sector transporte aéreo en Bogotá, dado que bajo este estudio no fue posible acceder a los datos de consumo requeridos para el cálculo. A continuación se exponen los ajustes realizados y las principales consideraciones que condujeron a efectuar nuevamente los demás cálculos para Bogotá.

Para el módulo de energía, se empleó la metodología IPCC 2006, la cual es comparable con la metodología IPCC 1996. Sin embargo para la sub-categoría Industrias manufactureras y de la construcción, según se afirma en el correspondiente anexo técnico, se empleó una base de datos integrada de varias fuentes (Inventario de emisiones por fuentes fijas convenio DAMA-INAMCO 2002, Inventario de Emisiones por Fuentes Fijas y móviles Convenio Secretaría Distrital de Ambiente – Universidad de los Andes 2008 y Base de Datos de seguimiento a Fuentes Fijas de la SDA 2008) para un total de 6137 registros, de los cuales 3643 corresponden a establecimientos con código CIIU perteneciente a la industria manufacturera y se explica que 2391 registros de los 6117 contabilizados en el módulo de energía, no poseen dato(s) de consumo de combustible(s), para los cuales se asignó una emisión por defecto de una (1) tonelada de dióxido de carbono equivalente para cada uno de estos registros en el año del inventario. Se considera que dicho aspecto introduce un alto porcentaje de incertidumbre en el cálculo; para esta categoría principalmente por subestimación de las emisiones. Adicionalmente se estima que el número de establecimientos industriales es mayor al empleado para el cálculo. En virtud de lo anterior, se realiza un ajuste en la metodología y se realiza el cálculo mediante la metodología *Top-Down* descrita en el capítulo 3, para el cálculo de las emisiones de la industria manufacturera en Cundinamarca.

Para la categoría Transporte terrestre por carretera, fue necesario realizar el cálculo bajo la metodología descrita en este documento, dado que para las emisiones de CH₄ y N₂O, las guías de 1996 no ofrecen factores de emisión por tipo de automóvil (factores empleados por la SDA) y adicionalmente, para el cálculo de las emisiones de CO₂ las metodologías de 1996 ofrecen factores de emisión diferentes para el transporte por carretera y con el fin de tener un cálculo comparable con el de las emisiones de Cundinamarca y los inventarios nacionales, se hace necesario emplear los mismos factores de emisión. Se realiza el cálculo siguiendo la misma metodología descrita en el numeral 2.1 del presente documento, empleando las mismas fuentes de información de consumo de combustibles empleadas por la SDA en su cálculo.

Para la categoría Comercial / Institucional, del módulo de energía se realiza un ajuste metodológico teniendo en cuenta que en el cálculo realizado por la SDA se incluyen combustibles catalogados como biomasa (madera y carbón vegetal) y de acuerdo con las guías del IPCC, las emisiones generadas por este tipo de combustibles no se contabilizan dentro de las emisiones, sino que se reportan a manera informativa. Adicionalmente, como se mencionó en la categoría de industria manufacturera; 2391 registros de los 6117 contabilizados en el módulo de energía, no poseen dato(s) de consumo de combustible(s), para los cuales se asignó una emisión por defecto de una (1) tonelada de dióxido de carbono equivalente para cada uno de estos registros en el año del inventario. Se considera que dicho aspecto introduce un alto porcentaje de incertidumbre en el cálculo; principalmente por subestimación de las emisiones. Se realiza el cálculo siguiendo la misma metodología descrita en el capítulo 3.

Para la sub-categoría Residencial, se realiza un ajuste teniendo en cuenta que en el cálculo efectuado por la SDA solo se tiene en cuenta el consumo de gas natural. Sin embargo, para este sector también se reportan otros consumos como GLP, carbón mineral y gasolina. Se realiza el cálculo siguiendo la misma metodología descrita en el numeral 2.1 del presente documento.

En el módulo de procesos industriales se incluye la categoría Industria de la alimentación y de las bebidas, pero las emisiones para este proceso corresponden a emisiones de precursores de GEI (COVDM) los cuales no son tenidos en cuenta en el inventario de emisiones para la región. Adicionalmente se incluyó el estimativo de las emisiones por uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, que no fue contemplado en el inventario efectuado por la SDA, para esto empleó la misma metodología descrita para las emisiones de esta categoría en Cundinamarca en el capítulo 3.

Para el módulo de agricultura, la SDA empleó las metodologías IPCC 2006 las cuales integran al módulo las emisiones por uso y cambio en el uso del suelo, emisiones no contempladas dentro del inventario para la región; razón por la cual no es posible emplear los resultados para agregarlos al de Cundinamarca, dado que las categorías asumidas son diferentes. Por lo anterior, fue necesario realizar los cálculos del módulo de agricultura para Bogotá siguiendo las guías del IPCC 1996, y los pasos descritos en el capítulo 3, del presente documento. La categoría fermentación entérica y manejo del estiércol, que es la única que se mantiene igual para las dos metodologías, fue estimada nuevamente empleando un factor de emisión local, producto de un trabajo elaborado por el IDEAM, quienes para este módulo realizaron el cálculo de factores de emisión para todas las regiones del país.

4.7. Sectores estratégicos para la reducción de emisiones en Cundinamarca y Bogotá

Se realizó un diagrama de Pareto con el objetivo de identificar las categorías estratégicas para la toma de decisiones en materia de opciones de mitigación en la región; es decir, aquellas fuentes de emisión que representan el mayor aporte de emisiones en Cundinamarca y Bogotá

y que por lo tanto serían prioritarias en cuanto a reducción de emisiones. Es necesario mencionar que para establecer opciones de mitigación de alto impacto, es importante realizar un análisis costo beneficio de cada estrategia que se proponga, análisis que no está dentro del alcance del presente proyecto pero que se espera se realice como etapa posterior en la región y para lo cual resultan importantes los resultados de este estudio.

En el figura 4.9 se presenta el diagrama de pareto para el departamento de Cundinamarca, en donde se observa que el mayor aporte es el de las emisiones generadas por el sector transporte por carretera, seguido por dos actividades del módulo agricultura: suelos agrícolas y fermentación entérica. Estas tres actividades aportan el 53% de los gases efecto invernadero en el departamento. Las actividades de consumo de combustibles en la industria cementera y en la central térmica ocupan un cuarto y quinto lugar, seguidas por las emisiones fugitivas de la minería del carbón y las generadas por disposición de residuos sólidos en tierra. Tan solo estas siete categorías generan el 82% de las emisiones del departamento. El 18% restante de emisiones GEI es generado por 19 categorías dentro de las que se destacan las generadas por el consumo de combustibles en el sector industrial de alimentos y bebidas y en el sector residencial y las generadas como subproducto en la producción de cemento.

Estos resultados indican que es necesario priorizar 7 actividades en cuanto a investigaciones y evaluación de opciones de reducción de emisión en el departamento. En el sector transporte, como principal emisor, se considera que en primer lugar se deben realizar investigaciones tendientes a caracterizar las emisiones por tipo de transporte (particular, de pasajeros, de carga) y por tipo de vehículo, para conocer la eficiencia de combustión y sistemas de control de emisiones. Una vez detallados estos aspectos se pueden evaluar alternativas como mejoramiento de las tecnologías y de la operación de las flotas actuales y futuras del parque vehicular, sustitución de combustibles, sistemas de transporte masivo, regulación en el transporte, entre otros.

En cuanto a las emisiones del sector pecuario, se pueden contemplar estrategias tendiente a mejorar la digestibilidad de las pasturas por parte del ganado y el mejoramiento de la productividad y de la eficiencia en la producción del ganado mediante el uso de técnicas de mejora en la genética y en la nutrición (Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales; GTZ. 1990); y en el sector agrícola realizar cambios en el manejo de suelos, principalmente: control de la erosión de suelos (labranza cero, rotación de cultivos y cultivos de cobertera) y manejo de fertilizantes.

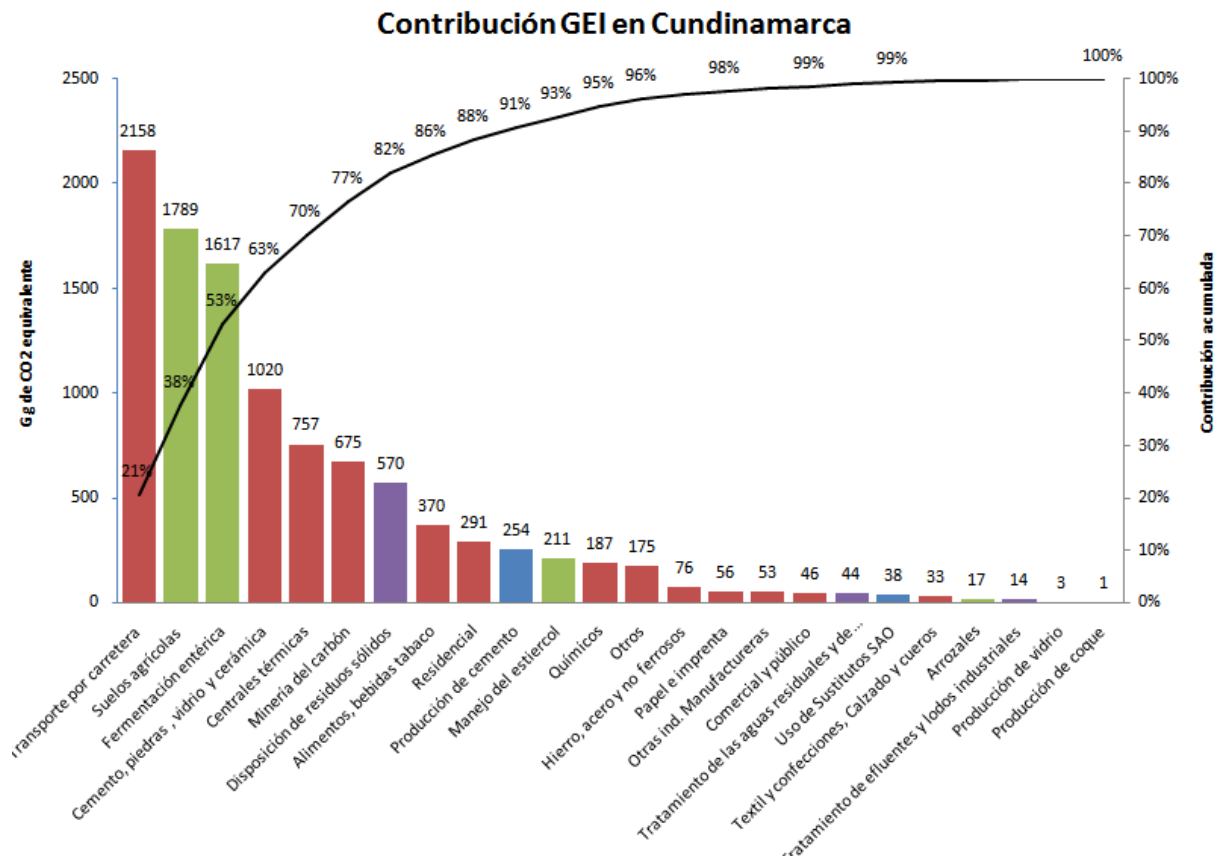


Figura 4.9. Diagrama Pareto resultado emisiones Cundinamarca

Para la industria cementera, al igual que para las demás industrias manufactureras importantes generadoras de GEI en Cundinamarca (alimentos, bebidas y tabaco y químicos), es necesario trabajar de la mano con los empresarios de cada sector para la evaluación de alternativas de modernización tecnológica y de mejoramiento de las prácticas de producción. Así mismo, desde las autoridades competentes, se requiere desarrollar y fortalecer los incentivos que fomenten una producción más limpia, de desarrollo bajo en carbono.

Una opción de reducción de emisiones encontrada para la generación de energía es la del empleo de energías renovables y energía geotérmica. Sin embargo, opciones importantes pueden estudiarse desde el punto de vista de la demanda, implementando estrategias de uso eficiente de la energía en los diferentes sectores de la región y del país. En este punto, es importante mencionar que para efectos del inventario, se están atribuyendo las emisiones por generación de energía al territorio en donde se ubica la central de generación y no se están teniendo en cuenta las emisiones indirectas generadas por el consumo energético en los diferentes sectores de la región.

Para uno de los 5 rellenos de disposición final de residuos en el departamento, se ha implementado la captura y combustión de biogás generado, proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL aprobado por el MADS en diciembre de 2008. Por lo tanto existe un potencial de reducción de emisiones en los 4 rellenos restantes, que puede resultar

importante para el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, por la cantidad de residuos que recibe diariamente (1301,41 ton/día). También son importantes, en este sector, otras opciones como las estrategias para la disminución en la cantidad de residuos orgánicos enviados a disposición final, o la evaluación e introducción de nuevas tecnologías para la disposición final que sustituyan a los rellenos sanitarios (SEMARNAT, 2000).

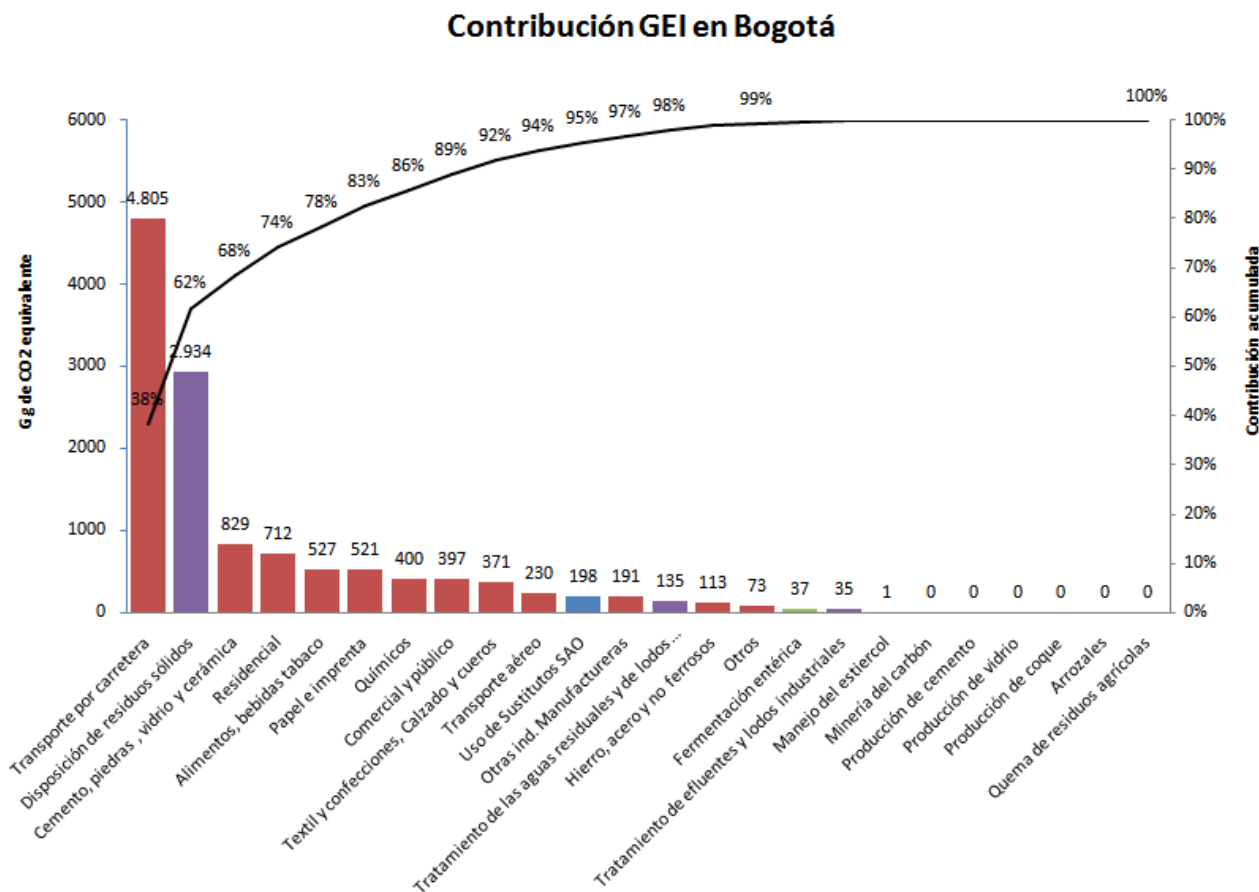


Figura 4.10. Diagrama pareto resultado emisiones Bogotá

Como se observa en la gráfica, un poco más de la mitad del total de emisiones (el 62%) para Bogotá, está concentrado en tan solo dos actividades: el transporte por carretera y la disposición de residuos sólidos. Son estos dos sectores los que resultan prioritarios para la investigación de reducción de emisiones GEI. En el 2008, el MADS aprobó un proyecto MDL para la recuperación, tratamiento y aprovechamiento energético en la industria local del gas generado en el relleno sanitario Doña Juana, único sitio de disposición final de residuos ubicado en el territorio de Bogotá; este proyecto está en fase inicial y por lo tanto es posible que en la actualidad las emisiones de metano sean menores a las calculadas para el año 2008.

En Bogotá, al igual que para Cundinamarca, resultan importantes las emisiones generadas por el empleo de combustibles fósiles en algunos sectores de la industria manufacturera, principalmente en las industrias de piedras, vidrio y cerámica, alimentos bebidas y tabaco y

papel e imprenta y químicos. Para estos sectores, es posible evaluar las mismas alternativas descritas anteriormente para este sector en Cundinamarca y adicionalmente, dada la cercanía y el importante número de empresas de un sector y de su correspondiente cadena productiva, también puede ser importante considerar y evaluar la construcción de parques industriales eficientes.

Finalmente, se considera de gran importancia para toda la región, evaluar acciones encaminadas a conservación de reservorios de carbono existentes (fomento al decreto de Áreas Naturales Protegidas, manejo de los recursos naturales, protección del bosque, reducción de las tasas de deforestación, ordenamiento ecológico); captación de carbono aumentando el tamaño de los reservorios (protección de cuencas, restauración de suelos degradados, desarrollo de plantaciones forestales, establecimiento de sistemas agroforestales y sustitución de productos biológicos (por ejemplo, madera en lugar de materiales de construcción elaborados con gran consumo de energía o uso de biomasa en lugar de combustibles fósiles). Según el IPCC con la conservación de reservorios y la captura, se logran las mayores reservas de carbono. (IPCC 2001). Estas acciones deben ser evaluadas a escala local con base en el uso del suelo del territorio.

4.8. Resultados incertidumbre

Tal como se reportó en la tabla de resultados 5.1, para Cundinamarca se estimó un total de emisiones de 10.454 ± 934 Gg de CO₂ equivalente (coeficiente de variación CV del 9%) y para Bogotá 12.508 ± 833 Gg de CO₂ equivalente (CV del 7%). En las figura 4.11 y 4.12 se ilustran el aporte de incertidumbre de cada categoría para las emisiones calculadas en Bogotá y Cundinamarca.

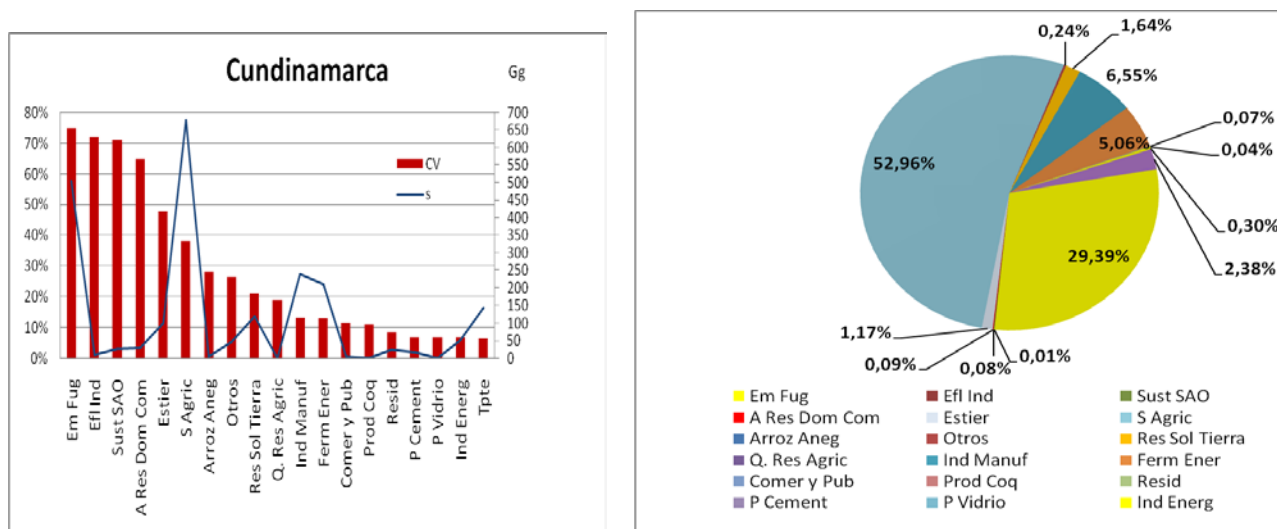


Figura 4.11. Contribución de incertidumbre por categoría de fuente Cundinamarca.

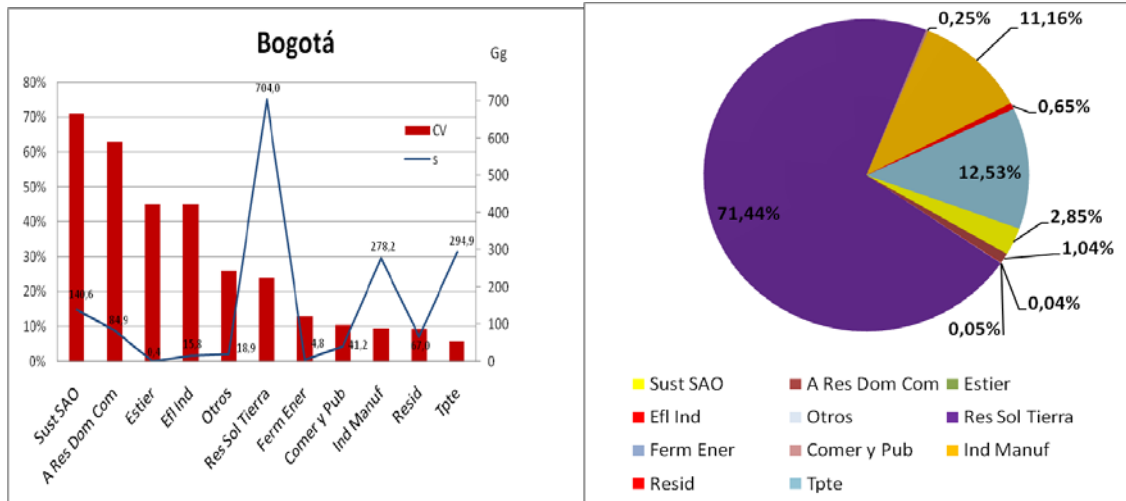


Figura 4.12. Contribución de incertidumbre por categoría de fuente Bogotá

Como se puede observar en la gráfica, el mayor aporte de incertidumbre en las emisiones estimadas para Cundinamarca, corresponde a las categorías de fuente de suelos agrícolas y emisiones fugitivas (82,35% en total).

Las incertidumbres en las estimaciones de las emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas son provocadas principalmente por los factores de emisión, datos de la actividad, y falta de información sobre prácticas rurales específicas (manejo del estiércol, aplicación de fertilizantes, principalmente); las incertidumbres en las estimaciones de emisiones indirectas de N₂O son ocasionadas por variabilidad natural, por los factores de emisión volatilización y lixiviación y por los datos de la actividad. Las incertidumbres correspondientes a los factores de emisión reportan variaciones que van desde el 50% hasta el 200% (por ejemplo en el caso de el factor de emisiones indirectas de N₂O procedentes de la deposición atmosférica de NH₃ y NO_x) (IPCC 2006). Respecto a los datos de actividad, las fuentes de información son confiables, se basan en cuantificaciones tomadas directamente en cada municipio (cabezas de ganado, hectáreas sembradas) y datos de importaciones de fertilizante a nivel nacional recopilados por la autoridad competente, asociando a estos datos un CV entre el 5% y 10%. Se adiciona un porcentaje de error del 30% atribuido a la aproximación *Top-Down* efectuada para obtener el consumo regional de fertilizante, teniendo en cuenta que se asume que se consumen en la región de forma proporcional a las hectáreas sembradas en cultivos.

En el caso de las emisiones fugitivas de metano por minería del carbón, el más alto error está asociado al factor de emisión asumido por defecto, para el cual se reporta un rango de incertidumbre de ± 50-75% (IPCC, 2006), dado principalmente por la variabilidad natural de la fuente y método de extracción del carbón.

Las emisiones calculadas para Bogotá, tiene el mayor aporte de incertidumbre del cálculo de emisiones para las categorías de fuente de disposición de residuos sólidos y sector transporte (83,97% del total). Se señala que en Bogotá no se generan emisiones por industrias de la energía, emisiones fugitivas de la minería del carbón, arrozales anegados, quema de

residuos, suelos agrícolas y producción de cemento (actividades inexistentes), aspecto importante para que la distribución de contribución de incertidumbre por categoría varíe significativamente respecto a la de Cundinamarca.

El cálculo para las emisiones generadas por la disposición de residuos sólidos, tiene asociada incertidumbre por el método, los datos de actividad (cantidad de residuos dispuesta) y el carbono orgánico degradable presente en los residuos. La incertidumbre en los datos sobre eliminación de desechos depende de cómo se obtienen los datos, dadas las fuentes de información empleadas, que recopilan datos de cantidades pesadas por los operadores de cada relleno, se consideran bajos (CV 2%); en cuanto al método, el empleado denominado de equilibrio de masas (Nivel 1), tiende a conducir a una sobreestimación de las emisiones al suponer que todo el CH₄ se libera en el mismo año en el que se depositaban los desechos. El valor del carbono orgánico degradable depende de factores, como la temperatura, la humedad, el pH, la composición de los desechos; para el cálculo se emplea la caracterización de cada relleno lo cual disminuye a incertidumbre pero se emplean valores por defecto del componente orgánico de cada tipo de desecho, los cuales tiene asociado un CV entre el 10 y 30% (IPCC, 2006).

En cuanto al sector transporte, el mayor aporte esta dado en primer lugar por el peso ponderado que tienen estas emisiones sobre el total y la mayor contribución en la incertidumbre la realiza el dato de emisiones para el transporte aéreo; pues existe una incertidumbre considerable inherente al cálculo de CO₂ basada en las incertidumbres de los datos de la actividad, dado que se requiere realizar una aproximación considerable para estimar las ventas de combustible en el aeropuerto de Bogotá para vuelos nacionales (separadas de las ventas para vuelos internacionales) y porque la incertidumbre del factor de emisión de CH₄ puede variar entre -57 y +100% y la del factor de emisión de N₂O entre -70 y +150%; además estos factores de emisión varían con la tecnología, y utilizar un solo factor de emisión para la aviación, en general, es una simplificación considerable (IPCC, 2006). En cuanto al sector de transporte por carretera, el CV calculado es del 6,5% dado que los datos de actividad son tomados de fuentes regionales consideradas confiables por ser reportadas directamente por los distribuidores al SUI (en el caso del GN) y calculados a partir de la sobretasa cobrada a los combustibles líquidos.

5. Conclusiones

Dada la importancia recientemente identificada de empoderar a niveles sub-nacionales en materia de gobernabilidad climática según el principio de subsidiaridad; se establece que las regiones del país deben asumir su responsabilidad frente al cambio climático, tanto en adaptación como en reducción de emisiones GEI y se considera que las acciones adaptación y mitigación lideradas regionalmente pueden ser más eficientes y costo efectivas que la dirigidas por entes nacionales.

Esta investigación en Colombia permitió desarrollar el inventario de emisiones GEI de la región Cundinamarca - Bogotá desagregado sectorialmente como herramienta orientadora de planes de mitigación, e identificar metodologías apropiadas al contexto colombiano para la regionalización de inventarios de emisiones GEI.

En cuanto a los resultados del inventario:

Se estimó para la región de estudio Bogotá – Cundinamarca, un total de emisiones de GEI de 22.963 ± 1.252 Gg de CO₂ equivalente. De este total, en Cundinamarca se generan 10.459 ± 934 Gg y en Bogotá 12.508 ± 833 Gg.

Del total de emisiones generadas en Cundinamarca, el 56% corresponde al módulo de energía, el 35% agricultura, 6% residuos y 3% procesos industriales. Para Bogotá la participación de emisiones por módulo es: 73,3% energía, 24,8% residuos, 1,6% procesos industriales y 0,3% agricultura.

Los sectores identificados como estratégicos para la evaluación de opciones de reducción de emisiones GEI son, para Cundinamarca: transporte por carretera, suelos agrícolas, fermentación entérica y uso de combustibles en la industria cementera, que generan conjuntamente el 63% de las emisiones del departamento, y para Bogotá el transporte por carretera y disposición de residuos sólidos que generan en conjunto 62% de las emisiones de la ciudad.

Se calcula un índice de toneladas de CO₂ equivalente /habitante-año de 4,37 para Cundinamarca y 1,7 para Bogotá. Este indicador no reflejan el hecho de que Cundinamarca proporciona bienes y servicios a la ciudad de Bogotá. Es necesario realizar un análisis más profundo que de cuantitativamente cuenta del metabolismo urbano de Bogotá, incluyendo las emisiones de GEI asociadas con los patrones de consumo.

En cuanto a la incertidumbre asociada a los resultados, se encontró que para el cálculo de emisiones en Cundinamarca el mayor aporte de incertidumbre corresponde a las categorías de fuente de suelos agrícolas y emisiones fugitivas (82.35% del total); aspecto determinado principalmente por los coeficientes de variación de los factores de emisión de CH₄ por

actividad minera y quema de combustibles y de N₂O por volatilización y lixiviación. En Bogotá el mayor aporte de incertidumbre está dado por las categorías de fuente de disposición de residuos sólidos y sector transporte (83.97% del total), debido principalmente al error asociado en el método de cálculo para emisiones de rellenos sanitarios, a la incertidumbre en los consumos de combustible para aviación nacional vendidos en Bogotá y a los factores de emisión de CH₄ y N₂O en el sector aviación.

Respecto al inventario de la SDA para Bogotá en el año 2008, fue necesario efectuar nuevamente los cálculos para el módulo de energía y agricultura, en el primer caso debido a la subestimación de fuentes generadoras y a la inclusión de biomasa en los consumos de combustibles, y en el segundo caso por encontrarse las emisiones agregadas con las calculadas en módulo de uso y cambio de uso en el suelo y bajo categorías de fuentes diferentes a las empleadas en el inventario de Cundinamarca, dificultando su comparación.

En cuanto a la metodología para estimar el inventario:

Para la mayoría de categorías de fuente es necesario emplear metodología nivel 1 IPCC 1996, dada la inexistencia de factores de emisión propios para el país y para la región. Para los únicos casos en los cuales es posible emplear metodología nivel 2, es para la estimación de emisiones por fermentación entérica de bovinos y por tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Para las categorías: consumo de combustibles en industria manufacturera y sector comercial, uso de sustitutos SAO y uso de fertilizantes (en suelos agrícolas), no se cuenta con fuentes de información que suministren los datos requeridos para el cálculo de forma desagregada por departamento, por lo tanto es necesario emplear metodologías de regionalización *Top-Down*, las cuales se definieron a partir del empleo de los siguientes indicadores: intensidad energética (TJ/\$), PIB (\$), intensidad de uso de fertilizantes (ton/ha).

Para las 22 categorías de fuente restantes es posible emplear metodologías *Bottom-Up* dada la disponibilidad de información regional, a partir de fuentes confiables.

Para la categoría de fuente “consumo de combustibles en el sector de industria manufacturera” se cuenta con información sobre consumo de combustibles de cada fuente puntual, a través de los inventarios de emisiones de contaminantes criterio elaborados por la CAR y la Universidad de los Andes (en convenio con la SDA). La información suministrada presenta ausencia de datos e inconsistencias, por lo tanto se diseñó una metodología denominada “cálculo de faltantes” con el fin de subsanar los vacíos y las inconsistencias. A partir de dichos datos y la metodología de faltantes, se realizó un cálculo de emisiones GEI *Bottom-Up* con el fin de compararlo con la metodología *Top-Down* diseñada para esta categoría. Se encuentra que los resultados obtenidos por *Bottom-Up* representan aproximadamente el 79% de las emisiones obtenidas por metodología *Top-Down* en el caso de las emisiones para Cundinamarca y el 52% para las emisiones de Bogotá.

Las fuentes de información empleadas para los cálculos Botom-Up y las metodologías *Top-Dow* diseñadas tienen potencial de replica y se espera que puedan ser empleadas como insumo para la definición de protocolos para la estimación de emisiones GEI en otras regiones del país. En el anexo 7 denominado LECCIONES APRENDIDAS EN LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO, se presenta el resumen de las fuentes de información empleadas.

Recomendaciones – trabajo futuro:

- ✓ Para nuevas investigaciones:

Completar el diseño de la metodología para “calcular faltantes” de información en inventarios de emisiones para fuentes fijas desarrollados por medio de recopilación de datos en campo, de manera tal que se complete la información para las fuentes para las cuales no se reporta dato o deban ser descartadas por falta de coherencia.

Ajustar la metodología *Top-Down* para emisiones por uso de SAO integrando aspectos como la demanda regional de refrigeración y aire acondicionado.

Profundizar en el análisis del “metabolismo urbano de Bogotá”, incluyendo emisiones asociadas a patrones de consumo (emisiones indirectas), como por ejemplo al consumo de energía eléctrica, esto teniendo en cuenta el tamaño de la población y su importancia socioeconómica que sugieren indicadores de emisiones per cápita mayores al estimado por la metodología contemplada.

Estimar emisiones y absorciones por uso y cambio uso suelo, para lo cual se requiere adelantar investigaciones tendientes a la obtención de la información requerida para el cálculo bajo metodología IPCC o desarrollar nuevas metodologías basadas en información existente.

Desarrollar investigaciones para “afinar” factores de emisión del sector ganadero y agrícola principalmente.

- ✓ Principalmente para los tomadores de decisiones:

Para cada sector identificado como prioritario en emisiones GEI, realizar análisis de las diferentes opciones de reducción posibles con el respectivo cálculo costo/beneficio, con el fin de identificar las medidas, proyectos y políticas estratégicas en mitigación.

Con base en el inventario demostrativo realizado para la región Bogotá Cundinamarca, desarrollar protocolos para la elaboración de inventarios regionales en Colombia, de manera que permitan obtener resultados comparables y puedan representar un ahorro (recurso humano, económico y tiempo) en su elaboración.

Establecer compromisos y acuerdos con las instituciones responsables del suministro de la información requerida para estimar las emisiones, de manera tal que se cuenta con datos anuales de manera rápida y oportuna

Referencias

ARPA Emilia Romagna, Environment Agency of Emilia-Romagna Region. Project Local Accountability for Kyoto goals. International Review - Tools and Methodologies for Greenhouse Gas Emissions (GHG) Accounting, 2009.

CCB, Cámara de Comercio de Bogotá, Observatorio de la región Bogotá – Cundinamarca, Internalización de la región Bogotá Cundinamarca en el 2010, 2010.
Disponible en http://camara.ccb.org.co/documentos/7544_observregional11.pdf.

DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Cuentas Departamentales. Resultados PIB Departamental, 2009 y 2010.
Disponible en http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2005/Resultados_2010.pdf

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Cuentas Nacionales departamentales, 2012. Disponible en http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=86

DETLEF P. Van Vuuren, MONIQUE Hoogwijk, TERRY Barker, KEYWAN Riahi, Comparison of top-down and bottom-up estimates of sectoral and regional greenhouse gas emission reduction potentials. *Energy Policy, Volume 37, Issue 12, December, 2009.*

GÓMEZ Darío, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina. Cursillo: inventarios de emisión
Santiago, Chile, 2012.

EPA, Public Participation Procedures For EPA's Emission Estimation Guidance Materials, EPA-454/R-94-022, July 1994.

FINLAYSON-PITTS, B.J. and Pitts, J.N. Chemistry upper and lower atmosphere. Academic Press, San Diego, 2000. Wayne, R.P. Chemistry of atmospheres. Oxford University Press, Oxford, 2002.

FLEMING, Gavin Fleming , Marna van der Merwe , Division of Water. Environment and Forest Technology, South Africa Spatial Disaggregation of Greenhouse Gas Emission Inventory Data for Africa South of the Equator, 2004.

Disponible en <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP896/p896.htm>

IDEAM, Instituto De Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá D.C. 2010.

IDEAM, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales -. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá D.C. 2001.

Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/natc/colnc1.pdf>.

IDEAM, Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático, Bogotá 2007.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, 1996.

Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Work Book, 1996.

Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.html>

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000.

Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publica IGES, Japón, 2006.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, Tercer informe de evaluación CAMBIO Climático, informe de síntesis, 2007,

Disponible en http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis, 2007.

Disponible en http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html.

RYPDAL Kristin, Wilfried Winiwarter. Uncertainties in greenhouse gas emission inventories, evaluation, comparability and implications Atmospheric Environment 35 (2001) 5425–5440.

RAMÍREZ A., C. de Keizer, J.P. Van der Sluijs, J. Olivier, L. Brandes. Monte Carlo analysis of uncertainties in the Netherlands greenhouse gas emission inventory for 1990–2004. *Atmos. Environ.* 42: 8263-8272, 2008.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. Atmospheric chemistry and physics. Wiley, Hoboken, 2006.

SINIC, Sistema Nacional de Información de Cultura Colombia, 2010,
Disponible en <http://www.sinic.gov.co/SINIC/ColombiaCultural/ColCulturalBusca.aspx?AREID=3&SECID=8&IdDep=11&COLTEM=216>

Secretaria de Planeación de Cundinamarca, Estadísticas Cundinamarca 2010.
Disponible en: http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoMedios/Imagenes/estadisticas_de_cundinamarca_2010_final.pdf.

UNIVERSITY OF MANCHESTER. Centre for Urban and Regional Ecology School of Environment and Development. The Greenhouse Gas Regional Inventory Protocol: Sacramento Area Council of Governments. 2008.

UN, NACIONES UNIDAS, Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, 1992. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.

UN, NACIONES UNIDAS, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, 1998
Disponible en: <http://www.cambioclimatico.gov.co/documentos/protocolo-kyoto.pdf>.

UNIVERSITY OF MANCHESTER Centre for Urban and Regional Ecology School of Environment and Development. The Greenhouse Gas Regional Inventory Protocol: Sacramento Area Council of Governments, 2008

UNDP, UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP, Environment and Energy Group/Environmental Finance Bureau of Development Policy, A Toolkit for Designing Climate Change Adaptation Initiatives, 2010.
Disponible en http://www.undp-adaptation.org/projects/websites/docs/KM/PublicationsResMaterials/UNDP_Adaptation_Toolkit_FINAL_5-28-2010.pdf.

Pulles, T., D. Heslinga. The Art of Emission Inventorying, TNO, Utrecht, 2010.

PNUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD, Diseño de una nueva ruta baja en carbono para el desarrollo, Lineamientos para la planificación integrada del cambio climático para gobiernos regionales, junio de 2009

PNUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD, Diseño de una nueva ruta baja en carbono para el desarrollo, Lineamientos para la planificación integrada del cambio climático para gobiernos regionales, 2009.

Disponible en: <http://www.undp.org/environment/climatestrategies.shtmlshow/886028AE-F203-1EE9-BE9AFB268A0353C2>

WILFRIED Winiwartera, Kristin Rypdal Assessing the uncertainty associated with national greenhouse gas emission inventories: a case study for Austria.

Anexo A: Potencial de Calentamiento Global - Global Warming Potential

Tomato de IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis,

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W\ m^{-2}\ ppb^{-1}$)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	^b 1.4×10^{-5}	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7×10^{-4}	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03×10^{-3}	310	289	298	153
Substances controlled by the Montreal Protocol							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CCIF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CCIF ₂ CCIF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CCIF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CCIF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CCIF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
Hydrofluorocarbons							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W m^{-2} ppb^{-1}$)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR ⁺ (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Perfluorinated compounds							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200
Perfluorinated compounds (continued)							
PFC-218		2,600	0.26	7,000	6,310	8,830	12,500
PFC-318		3,200	0.32	8,700	7,310	10,300	14,700
PFC-3-1-10		2,600	0.33	7,000	6,330	8,860	12,500
PFC-4-1-12		4,100	0.41		6,510	9,160	13,300
PFC-5-1-14		3,200	0.49	7,400	6,600	9,300	13,300
PFC-9-1-18		>1,000d	0.56		>5,500	>7,500	>9,500
trifluoromethyl sulphur pentafluoride		800	0.57		13,200	17,700	21,200
Fluorinated ethers							
HFE-125		136	0.44		13,800	14,900	8,490
HFE-134		26	0.45		12,200	6,320	1,960
HFE-143a		4.3	0.27		2,630	756	230
HCFE-235da2		2.6	0.38		1,230	350	106
HFE-245cb2		5.1	0.32		2,440	708	215
HFE-245fa2		4.9	0.31		2,280	659	200
HFE-254cb2		2.6	0.28		1,260	359	109
HFE-347mcc3		5.2	0.34		1,980	575	175
HFE-347pcf2		7.1	0.25		1,900	580	175
HFE-356pcc3		0.33	0.93		386	110	33
HFE-449sl (HFE-7100)		3.8	0.31		1,040	297	90

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency ($W m^{-2} ppb^{-1}$)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR ⁺ (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
HFE-569sf2 (HFE-7200)		0.77	0.3		207	59	18
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)		6.3	1.37		6,320	1,870	569
HFE-236ca12 (HG-10)		12.1	0.66		8,000	2,800	860
HFE-338pcc13 (HG-01)		6.2	0.87		5,100	1,500	460
Perfluoropolyethers							
PFPME		800	0.65		7,620	10,300	12,400
Hydrocarbons and other compounds – Direct Effects							
Dimethylether		0.015	0.02		1	1	<<1
Methylene chloride		0.38	0.03		31	8.7	2.7
Methyl chloride		1.0	0.01		45	13	4

Disponible en http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

**Anexo B: Hojas de cálculo del inventario de emisiones GEI en Cundinamarca –
Bogotá**

(Se presenta en magnético – Formato Excel)

Anexo C: Factores de emisión

MÓDULO ENERGÍA

QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES:

- ✓ Factores emisión Carbono FEC (Tabla 1-2 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de energía)

COMBUSTIBLE	FEC (t C/TJ)
Petróleo	20
Gasolina (Gasolina Motor)	18,9
Queroseno jet	19,5
Otros tipos de Queroseno	19,6
Gasóleo/Fuelóleo (Diesel ó ACPM)	20,2
Fuelóleo residual (Fuel Oil)	21,1
GLP	17,2
Antracita	26,8
Carbón coquizable o Metalúrgico	25,8
Otro carbón bituminoso	25,8
Carbón sub bituminoso	26,2
Lignito	27,6
Coque del horno de coque	29,5
Gas del horno de coque	29,5
Gas de alto horno	66
Gas natural	15,3

- ✓ Factores emisión CH₄ (Tabla 1-7 IPCC 1996, Manual de referencia, módulo de energía)

SECTOR	FE (Kg/TJ)				
	Carbón	Gas Natural	Petróleo	Gasolina	Diesel
Sector de Energía y Transformación	1	1	3		
Sector Industrias manufactureras y de construcción	10	5	2		
Sector Transporte	Aviación Nacional (a)		0,5		
	Transporte por Carretera		50	20	5
	Transporte Ferroviario	10		5	
	Navegación Nacional (a)	10		5	
Sector Comercial/Institucional	10	5	10		
Sector Residencial	300	5	10		
Sector Agricultura/silvicultura/ pesca	Fuentes estacionarias	300	5	10	
	Fuentes móviles		5	5	

- ✓ Factores emisión N₂O (Tabla 1-8 IPCC 1996, Manual de referencia, módulo de energía)

SECTOR	FE (Kg/TJ)				
	Carbón	Gas Natural	Petróleo	Gasolina	Diesel
Sector de Energía y Transformación	1,4	0,1	0,6		
Sector Industrias manufactureras y de construcción	1,4	0,1	0,6		
Sector Transporte			2,0		

SECTOR		FE (Kg/TJ)				
		Carbón	Gas Natural	Petróleo	Gasolina	Diesel
	Transporte por Carretera		0,1		0,6	0,6
	Transporte Ferroviario	1,4		0,6		
	Navegación Nacional (a)	1,4		0,6		
Sector Comercial/Institucional		1,4	0,1	0,6		
Sector Residencial		1,4	0,1	0,6		
Sector Agricultura/ silvicultura/ pesca	Fuentes estacionarias	1,4	0,1	0,6		
	Fuentes móviles		0,1	0,6		

EMISIONES FUGITIVAS:

- ✓ Factores de emisión de CH₄ para actividades de minería de carbón (Tabla 1-5 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de energía)

ACTIVIDAD		FE (m ³ CH ₄ / t)	
		Rango	Valor empleado
Minas subterráneas	Extracción	10 - 25	17,5
	Post-extracción	0,9 - 4,0	2,45
Minas a cielo abierto	Extracción	0,3 - 0,2	0,25
	Post-extracción	0 - 0,2	0,1

MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES

- ✓ Factor de emisión de CO₂ en la producción de cemento (página 2.4 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de procesos industriales)

ACTIVIDAD	FEC (t CO ₂ / t cemento producido)
Producción de cemento	0,4985

- ✓ Factor de emisión de CH₄ en la producción de coque (Tabla 2.9 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de procesos industriales)

ACTIVIDAD	FEC (kg CH ₄ / t producción)
Producción de coque	0,5

MÓDULO DE AGRICULTURA

FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y MANEJO DEL ESTIÉRCOL

- ✓ Factor de emisión de CH₄ por fermentación entérica del ganado (Tablas 4-2 y 4-3 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de agricultura)

Tipo de ganado	FE (kg CH ₄ /cabeza/año)
Búfalos	55
Ovejas	5
Cabras	5
Camellos	46
Caballos	18

Tipo de ganado	FE (kg CH ₄ /cabeza/año)
Mulas y asnos	10
Cerdos	1
Aves de corral	No estimado
Vacuno Lechero	57*
Vacuno no lechero	49*

* Nota: Para ganado vacuno se empleó un factor de emisión para Cundinamarca (60,173 kg CH₄/cabeza/año), tomado de los calculados para realizar el Inventario Nacional del 2004 efectuado en el Marco de la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. (Inventario nacional, Capítulo 4, página 216, IDEAM 2010).

- ✓ Factor de emisión de CH₄ para el manejo del estiércol (Tablas 4-4 y 4-5 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de agricultura)

Tipo de ganado	FE (kg CH ₄ /cabeza/año) Países en desarrollo
Búfalos	1
Ovejas	0,16
Cabras	0,17
Camellos	1,92
Caballos	1,64
Mulas y asnos	0,9
Cerdos	1
Aves de corral	0,018
Vacuno Lechero	1
Vacuno no lechero	1

- ✓ Factor de emisión de N₂O para el manejo del estiércol (Tablas 4-8 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de agricultura)

Sistema de manejo del estiércol	FE (kg N ₂ O-N/kg N excretado)
Lagunas anaeróbicas	0,001
Sistemas de tipo líquido	0,001
Abonado diario	0
Almacenamiento sólido y parcelas secas	0,02
Praderas y pastizales	0,02
Otros	0,005

ARROZALES ANEGADOS

- ✓ Factor de emisión de CH₄ integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales para el arroz anegado continuamente sin fertilizantes orgánicos (Tablas 4-11 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de agricultura)

Sistema de manejo del estiércol	FE (g/m ²)
Media aritmética	20 (12 -28)

SUELOS AGRÍCOLAS

- ✓ Factor de emisión de N₂O para la categoría suelos agrícolas (Tablas 4-18 IPCC 1996, libro de trabajo módulo de agricultura)

Categoría	FE N ₂ O en la agricultura
Emisiones directas procedentes de: Fertilizante sintético, estiércol, cultivos fijadores de Nitrógeno, residuos de las cosechas	FE ₁ = 0,0125 (0,0025 – 0,025) kg N ₂ O–N/kg N
Emisiones directas procedentes del cultivo de los histosoles	FE ₂ = tropical: 10 (2 -15) kg N ₂ O–N/ha
Emisiones procedentes del pastoreo de animales - praderas y pastizales	FE ₃ = 0,002 kg N ₂ O–N/kg N
Emisiones indirectas procedentes de la deposición atmosférica de NH ₃ y NO _x	FE ₄ = 0,01 (0,002 – 0,12) kg N ₂ O–N/kg NH ₃ -N
Emisiones indirectas procedentes de la lixiviación	FE ₅ = 0,025 (0,002 – 0,12) kg N ₂ O–N/kg lixiviación de nitrógeno

MÓDULO DE RESIDUOS

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

- ✓ Datos para la derivación de los factores de emisión de CH₄ para el tratamiento de las aguas residuales domésticas (Cuadro 6-3IPCC 2006, capítulo 6 Tratamiento y eliminación de aguas residuales)

Sistema de tratamiento	Comentarios	MFC (factor corrección para el metano - fracción)	intervalo
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Debe ser bien operada. Puede emitir algo de CH ₄ desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Mal operada. Sobrecargada.	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros: recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros.	0,8	0,8 – 1,0
Sistema séptico	La mitad del BOD se decanta en tanques anaeróbicos.	0,5	0,5
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)	0,1	0,05 – 0,15
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, uso comunitario (muchos usuarios)	0,5	0,4 – 0,6
Letrina	Clima húmedo/descarga por agua, capa freática más alta que la letrina	0,7	0,7 – 1,0
Letrina	Extracción frecuente de sedimentos para abono	0,1	0,1

- ✓ Datos para la derivación de los factores de emisión de CH₄ para el tratamiento de las aguas residuales industriales (Cuadro 6-8 IPCC 2006, capítulo 6 Tratamiento y eliminación de aguas residuales)

Sistema de tratamiento	Comentarios	MFC (factor de corrección para el metano - fracción)	intervalo
Planta de tratamiento aeróbico	Debe ser bien operada. Puede emitir algo de CH ₄ desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento aeróbico	Mal operada. Sobrecargada.	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros: recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros:	0,8	0,8 – 1,0

Anexo D: Emisiones GEI por consumo de combustibles en el sector industrial manufacturero- metodología *Bottom-Up*

Resumen de tesis de Trabajo de grado presentado por:

ANGELICA MARÍA ROJAS CHOCONTÁ

Estudiante de pregrado de Ingeniería Química - Universidad Nacional de Colombia

Director: RODRIGO JIMÉNEZ PIZARRO Ph.D.

Profesor Asociado Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Junio de 2012

1. CÁLCULO DE EMISIONES METODOLOGÍA BOTTOM-UP

Los inventarios realizados por esta metodología se basan principalmente en información contenida en los inventarios de emisiones de gases contaminantes realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), para los años 2008, 2009 Y 2010, dentro de los cuales se presenta información relacionada con diferentes empresas ubicadas en 28 municipios dentro de la jurisdicción de la CAR; y a partir del inventario generado por la Universidad de los Andes, en donde se recopila información del uso de combustible para 1478 empresas ubicadas en Bogotá.

1.1. INFORMACIÓN EMPLEADA

Empresas inventariadas

De la información reportada para 630 empresas en los inventarios de la CAR, se extrajo la información correspondiente a 275 empresas ubicadas en 28 municipios en Cundinamarca. Esto debido principalmente a que para un gran número de empresas solo se reportaba información fundamental como el combustible empleado, frecuencia de operación, cantidad de combustibles, etc. y en otros casos fue necesario rechazar datos que estaban desfasados.

En la tabla 1 se presenta una descripción de la información empleada para Cundinamarca según su clasificación industrial por código CIUU. Para el cálculo de emisiones de GEI de Bogotá se emplearon datos de 682 empresas de las 799 reportadas en el inventario Andes, puesto que 117 de éstas no pertenecían a la categoría manufacturera.

Código CIUU	Número de empresas reportadas en los inventarios (CAR)	Número de empresas con información	Número de empresas sin información
10	58	12	46
15	97	49	48
17	3	1	2
20	3	1	2

Código CIUU	Número de empresas reportadas en los inventarios (CAR)	Número de empresas con información	Número de empresas sin información
21	3	3	0
24	32	16	16
25	13	4	9
27	18	8	10
28	19	11	8
34	5	4	1
36	1	0	1
37	11	1	10
45	10	5	5
2310	38	19	19
2322	20	14	6
2610	5	4	1
2693	195	135	60
2694	12	3	9
2691-2692	6	2	4
Sin información de CIUU	14	4	10
NO APLICA	67		
Total empresas	630	296	267
Total empresas de la industria a manufacturera*	481	275	206
Porcentaje de empresas de la industria manufacturera con información disponible	0,57		

Tabla 1. Empresas Industria manufacturera.*Se considera dentro de la industria manufacturera todos los códigos CIUU excepto los códigos 10 y 45 (minería y construcción respectivamente).

Actividad industrial

En los cálculos se emplearon los datos de las empresas para las cuales se reportaba el código CIUU o en su defecto una descripción de la actividad industrial a partir de la cual se hizo la clasificación correspondiente. En la tabla 2 se describen las actividades industriales para las cuales se realizó el inventario, de acuerdo con la información disponible en los inventarios CAR y Andes.

Código CIUU	Actividad Industrial
10	Extracción de carbón
15	Elaboración de productos alimenticios t bebidas
17	Fabricación de productos textiles
18	Confección de prendas de vestir, adobo y teñido de pieles
21	Fabricación de papel y cartón y productos de papel y cartón
22	Actividades de edición e impresión de grabaciones
23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear
2310	Fabricación de productos de horno de coque
2322	Elaboración de productos derivados de petróleo fuera de refinería
24	Fabricación de sustancias y productos químicos
25	Fabricación de productos de caucho y plástico
26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
2610	Fabricación de vidrio y productos de vidrio

Código CIUU	Actividad Industrial
2691-2	Fabricación de productos de cerámica
2693	Fabricación de productos de arcilla para uso estructural
2694	Fabricación de cemento, cal y yeso y artículos de cemento
27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos
28	Fabricación de productos elaborados de metal excepto maquinaria y equipo
29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp
31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp
32	Fabricación de equipos y aparatos de radio, televisión y comunicaciones
33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes
34	Fabricación de partes y accesorios para vehículos automotores
35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte
36	Fabricación de muebles
37	Reciclaje
39	Fabricación de bisutería
45	Materiales de construcción

Tabla 2. Descripción de la actividad industrial por código CIUU. (DANE, 2006)

De acuerdo con la información reportada por cada uno de las fuentes, se hizo una clasificación industrial por CIUU a 2 y cuatro dígitos dependiendo de la disponibilidad de datos.

Consumo de combustible

Este dato, junto con la frecuencia de operación se utilizó para calcular el consumo de combustible anual de cada empresa. Puesto que en los inventarios CAR se reportan diferentes combustibles, estos se clasificaron en las siguientes categorías:

- Carbón: combustible reportado como carbón o carbón mineral.
- Gas natural: combustible reportado como gas o gas natural.
- Crudo: combustible reportado como petróleo, crudo de rubiales o crudo de castilla.
- GLP: gas licuado del petróleo reportado como GLP.
- ACPM: combustible reportado como ACPM, aceite usado, ACCEL.
- Fuel Oil.
- Biomasa: reportado como madera, bagazo o bagazo de coco.
- Kerosene.

El consumo de combustible se reporta en los inventarios de la CAR en diferentes unidades y frecuencias de consumo; por ejemplo, en algunos casos se reporta el consumo de carbón en kilogramos por hora, y en otros se reporta en toneladas por mes, por lo que fue necesario organizar estos datos y estandarizar las unidades de acuerdo al tipo de combustible, empleando para esto la frecuencia de operación reportada en los inventarios de la CAR.

Frecuencia de operación

Es el tiempo durante el cual se encuentra en operación la fuente de emisión, generando un consumo de combustible dado. Para las empresas que no reportaron la frecuencia de operación se emplearon valores promedio obtenidos a partir del inventario de emisiones de la Universidad de los Andes. De este inventario se calculó para cada código CIUU una

frecuencia de operación promedio en horas/día y días/año. En la tabla 3 se presentan todas las frecuencias de operación promedio calculadas a partir de el inventario ANDES.

CÓDIGO CIUU	Frecuencia			
	horas/día	Días/semana	Frecuencia días/semana	Frecuencia días/año
15	13	5,471	45	257
17	14	5,339	45	250
18	10	5,431	44	252
19	16	5,389	45	249
20	16	5,393	44	252
21	17	5,328	45	252
22	5	5,246	44	246
23	6	5,299	44	248
24	11	5,349	45	251
25	11	5,325	44	248
26	24	5,346	45	247
27	6	5,340	45	250
28	10	5,405	44	249
29	8	5,366	44	245
31	8	5,375	44	246
32	12	5,375	43	243
33	20	5,316	44	243
34	13	5,246	43	237
35	6	5,214	42	235
36	7	5,373	43	242
37	6	5,247	43	237

Tabla 3. Frecuencias de operación promedio calculadas.

Poder calorífico del combustible

Se emplearon valores reportados por la Unidad de Planeación minero energética (UPME) y ECOPEPETROL. Estos valores se reportan en la tabla 4.

PODER CALORÍFICO DE COMBUSTIBLES		
COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO	UNIDADES
CARBON MINERAL	7079	kcal/kg
GAS NATURAL	8264	Kcal/m3
PETROLEO (CRUDO)	25091	Kcal/gal
GLP	23184	Kcal/m3
ACPM	25091	Kcal/gal
FUEL OIL	26909	Kcal/gal
ACEITE USADO	25091	Kcal/gal
KEROSENE	14000	Kcal/gal
BIOMASA	3600	Kcal/kg
GASOLINA	22182	Kcal/kg

Tabla 4. Poderes caloríficos empleados en el cálculo (UPME, 2006)

En el caso particular del carbón se empleó el valor promedio de poderes caloríficos reportados por la UPME, discriminados por zona carbonífera. Esto fue posible ya que para

las industrias que emplean carbón como combustible, se presenta la procedencia del mismo.

PODERES CALORIFICOS CARBON COLOMBIANO (UPME)		
ZONA	SECTOR CARBONIFERO	PC (Kcal/kg)
CUNDINAMARCA	Jerusalén	7250
	Caparrapi	7130
	Guaduas	
	Suesca-Chocontá	7050
	Guatavita	
	Carmen de Carupa	7250
	Tabio- Río Frio	7440
	Cogua-Sutatausa-Guacheta	7460
	Lenguazaque - Cucunuba - Nemocom	7070
	Suesca-Albarracín	7080
	Zipaquira - embalses del Neusa	7220
	Neusa Vereda Lagunita	
	Macheta	6208
BOYACA	Checua-Lenguazaque	7470
	Suesca - Albarracín	6900
	Tunja - Paipa - Duitama	6260
	Sogamoso - Jericó	7280
	Betania	7700
	Umbita-Tota	6500
PROMEDIO		7079,25

Tabla 5. Poder calorífico del carbón por zona carbonífera (UPME, 2006)

Factor de emisión

El factor de emisión se asumió según los valores propuestos por el IPCC (1996). Estos valores se presentan en la tabla 6:

FACTORES DE EMISION EMPLEADOS EN EL CÁLCULO				
COMBUSTIBLE	CEF	Kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
CARBON	25,8	94600	10	1,4
ACPM	21	77000	2	0,6
GLP	17,2	63067	1	0,1
GAS NATURAL	15,3	56100	5	0,1
CRUDO DE RUBIALES	20	73333	3	0,6
BIOMASA SOLIDA	----	76743	30	4
KEROSENE	19,5	71900	3	0,6

Tabla 6. Factores de emisión empleados (IPCC, 1996)

Potencial de calentamiento global (GPW)

Este valor se asumió según los valores propuestos por el IPCC (1996).

GPW	
CH ₄	21
N ₂ O	310

Tabla 7. Potencial de calentamiento global (IPCC, 1996)

1.2. CÁLCULOS REALIZADOS

Para el cálculo de emisiones por la metodología Bottom Up se empleó la metodología de nivel 1 propuesta por el IPCC (1996). De acuerdo con esto, las ecuaciones empleadas se describen a continuación:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i^n (Cap * PC_i * F_{em} * 10^{-6} - C_{alm}) * C_{ox}$$

$$Emisiones\ de\ GEI = \sum_i^n (Cap * PC * F_{em} * 10^{-6})$$

$$Emisiones\ de\ CO_2\ equivalente = emisiones\ de\ GEI * GPW$$

En donde:

Cap. = Consumo aparente de combustible (kg, m³, gal)

PC= Poder calorífico del combustible i

Fem = Factor de emisión para obtener el contenido de carbono (kg GEI/TJ)

10⁻⁶ = Constante para convertir kg Carbono a Gg de Carbono

Calm = Carbono almacenado (Gg C) = 0

Cox = Fracción de Carbono oxidado = 1

GPW = Potencial de calentamiento global.

1.3. RESULTADOS

En la tabla 8 se presenta un resumen de las emisiones totales de GEI obtenidas por la metodología Bottom-Up para Cundinamarca y Bogotá.

EMISIONES DE GEI CUNDINAMARCA METODOLOGIA BOTTOM-UP	Cundinamarca	Bogotá
Emisiones de CO2 (kg)	1.082.561.260	768.672.428
Emisiones de CH4 (kg)	107.197	71.741
Emisiones de CH4 como CO2 equivalente(kg)	2.251.137	1.506.552
Emisiones de N2O (kg)	13.316	4.233
Emisiones de N2O como CO2 equivalente (kg)	4.128.091	1.312.165
Emisiones de GEI totales expresadas como CO2 equivalente	1.088.940.488	771.491.146

Tabla 8. Emisiones de GEI metodología Bottom-Up.

1.3.1. Resultados Cundinamarca

En la tabla 9 se resumen las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O expresadas como kg de CO₂ equivalente clasificadas por actividad industrial y combustible empleado, y en las figuras 1 y 2 se presenta la distribución porcentual de emisiones por combustible empleado y la distribución de emisiones por actividad industrial respectivamente.

PROVINCIA	MUNICIPIO	# de empresas	Emisiones de CO2 (kg)	Emisiones de CH4 (kg)	Emisiones de CH4 expresadas como CO2 EQ (kg)	Emisiones de N2O (kg)	Emisiones de N2O expresadas como CO2 EQ (kg)	Emisiones totales expresadas como CO2 equivalente	total emisiones provincia (kg)
-----------	-----------	---------------	-----------------------	-----------------------	--	-----------------------	--	---	--------------------------------

ALMEIDAS	SESQUILÉ	1	313.285	33	695	5	1.437	315.418	315.418
ALTO MAGDALENA	AGUA DE DIOS	2	15.057.151	1.592	33.425	223	69.078	15.159.655	38.441.523
	GIRARDOT	8	11.826.239	1.250	26.253	175	54.256	11.906.748	
	RICAUARTE	6	11.298.207	1.194	25.081	167	51.833	11.375.121	
GUALIVA	ALBAN	1	2.490.881	263	5.529	37	11.428	2.507.838	2.507.838
SABANA CENTRO	CAJICA	11	313.168.505	32.276	677.786	3.960	1.227.750	315.074.041	671.748.581
	Chía	2	0	3	70	1	311	382	
	COGUA	28	138.079.925	14.270	299.661	1.888	585.309	138.964.895	
	COTA	5	774.657	90	1.885	14	4.288	780.831	
	NEMOCON	51	191.155.615	20.157	423.305	2.826	876.024	192.454.945	
	TABIO	2	4.190.176	443	9.302	62	19.223	4.218.701	
	TENJO	4	2.323.634	363	7.623	70	21.576	2.352.834	
	TOCANCIPA	5	15.660.635	1.363	28.633	122	37.773	15.727.041	
	ZIPAQUIRA	3	2.157.603	251	5.272	39	12.036	2.174.911	
SABANA OCCIDENTE	BOJACÁ	1	774.545	82	1.719	11	3.553	779.818	96.435.389
	FACATATIVA	2	3.044.614	321	6.751	45	13.956	3.065.321	
	FUNZA	4	18.714.111	1.268	26.626	215	66.505	18.807.242	
	MADRID	7	25.441.305	1.268	26.632	233	72.080	25.540.018	
	MOSQUERA	24	48.018.952	3.496	73.414	486	150.625	48.242.991	
SOACHA	SIBATÉ	4	27.738.168	2.903	60.965	395	122.392	27.921.525	233.477.945
	SOACHA	37	204.641.626	19.381	406.993	1.638	507.801	205.556.420	
UBATÉ	CUCUNUBA	1	24.059	3	53	0	110	24.222	46.013.794
	GUACHETÁ	2	367.605	39	816	5	1.686	370.107	
	LENGUAZAQUE	1	16.039.136	1.695	35.605	237	73.583	16.148.325	
	SIMIJACA	4	7	7	156	2	692	855	
	SUTATAUSA	1	1.042.544	110	2.314	15	4.783	1.049.641	
	TAUSA	12	18.876.500	1.995	41.903	279	86.600	19.005.004	
	UBATÉ	5	9.341.572	1.079	22.666	166	51.400	9.415.639	
	TOTAL	275	1.082.561.260	107.197	2.251.137	13.316	4.128.091	1.088.940.488	

Tabla 9. Emisiones de GEI expresadas como CO₂ equivalente.

*El valor final no tiene en cuenta las emisiones generadas por Biomasa.

1.3.2. Resultados Bogotá

Los resultados obtenidos para Bogotá se pueden ver en la tabla 10. Una comparación de los resultados obtenidos para Bogotá y Cundinamarca se muestra en las figuras 2 y 3. En estas figuras se puede observar la distribución de emisiones por combustibles y por sector industrial.

CÓDIGO CIUU	CÓDIGO CIUU	GAS NATURAL	CRUDO	CARBÓN	GLP	ACEITES	CARBÓN VEGETAL	TOTAL
Alimentos	15	199.146.593	3.011.470	14.200.627	310.211	1.969.097	5.459	218.643.456
Textil y confecciones	17	111.890.495	2.750.080	81.015.914	0	501.792	0	196.158.281
Papel	21	32.241.483	0	573.146	0	7.508	38.990	32.861.126

Inventario de emisión de GEI para Bogotá-Cundinamarca 2008

Químicos	24	100.672.995	0	327.106	64	13.411	0	101.013.576
Plástico y caucho	25	11.158.249	0	935.748	76.259	11.297	0	12.181.553
Piedras, vidrio,cerámicos	26	0	0	88.601.735	0	77.691	0	88.679.426
Autopartes	34	29.987.173	0	1.403.622	249.071	55.878	0	31.695.745
Otros	OTROS	22.403.196	6.420.691	7.440.549	1.032.306	3.068.407	5.789.941	46.155.091
TOTAL		507.500.185	12.182.241	194.498.446	1.667.912	5.705.080	5.834.389	727.388.254

Tabla 10. Distribución de emisiones de GEI obtenidas para Bogotá por la metodología Bottom Up.

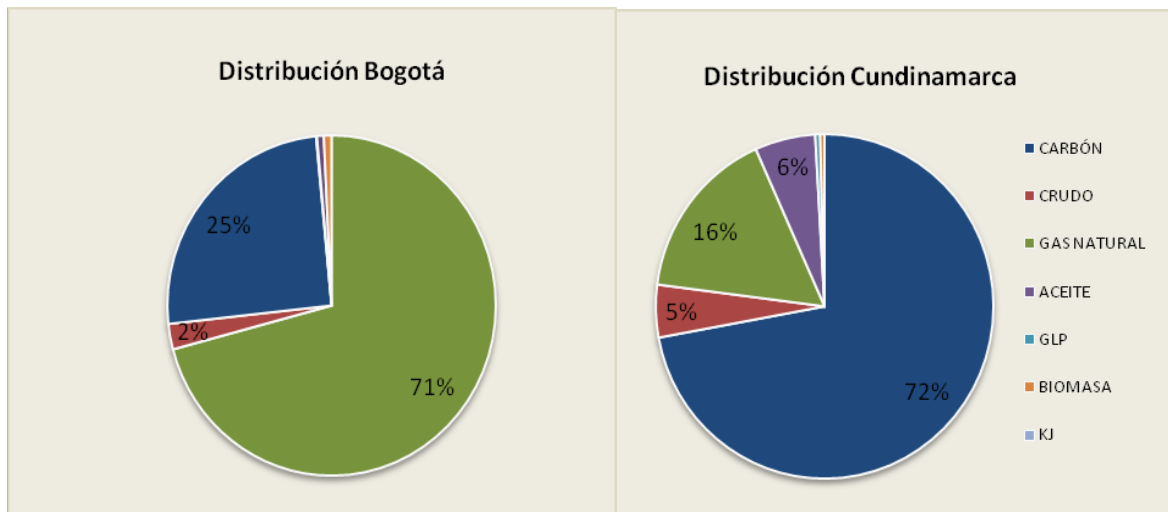


Fig1. Distribución de emisiones por combustible metodología Bottom-Up.

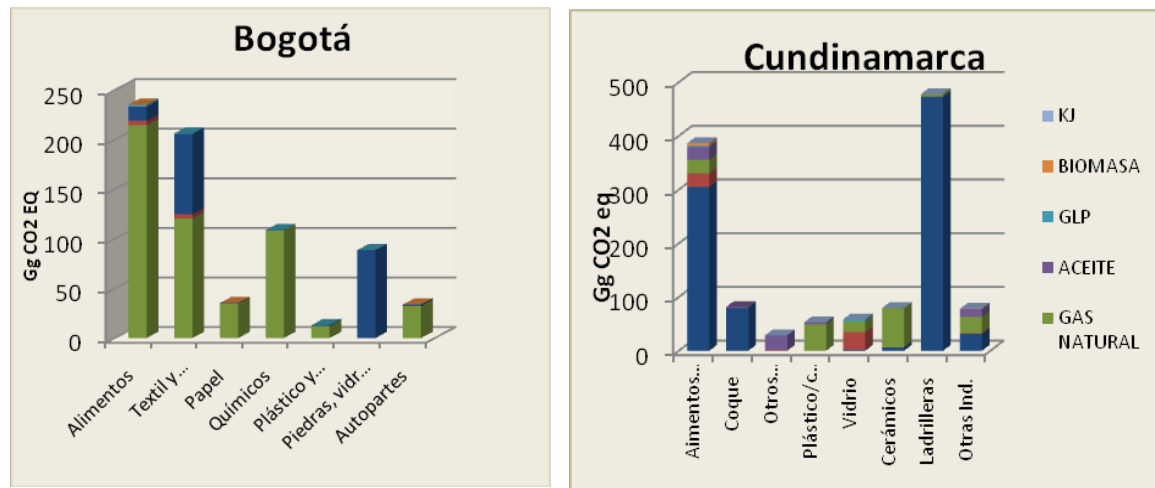


Fig1. Distribución de emisiones por sector industrial y combustible metodología Bottom-Up.

Anexo E: Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria-UMATAS seleccionadas para envío de encuestas sector agropecuario.

Los municipios fueron seleccionados por representar el 31% en área sembrada y el 25% en producción, del total reportado para Cundinamarca en el año 2008. Adicionalmente se incluyeron los municipios de Fomeque, Ubala y Yacopí por ser representativos en actividad agropecuaria.

PRIORIDAD	MUNICIPIOS PARA ENCUESTA	ÁREA SEMBRADA (Ha)	PRODUCCIÓN (Ton)
TEQUENDAMA	ANAPOIMA	1.547	9.048
SABANA OCCIDENTE	BOJACA	810	655
SABANA CENTRO	CAJICA	68	3.325
BAJO MAGDALENA	CAPARRAPI	15.500	8.360
UBATE	CARMEN DE CARUPA	4.277	68.648
ALMEIDAS	CHOCONTA	1.940	75.488
SABANA CENTRO	COGUA	300	1.060
TEQUENDAMA	EL COLEGIO	2.503	2.753
SABANA OCCIDENTE	FUNZA	250	2.400
SUMAPAZ	GRANADA	140	910
BAJO MAGDALENA	GUADUAS	350	2.100
GUAIVIO	GUATAVITA	3.260	78.440
ORIENTE	GUTIERREZ	2.665	3.511
ALTO MAGDALENA	JERUSALEN	2.000	3.900
TEQUENDAMA	LA MESA	3.635	18.388
RIONEGRO	LA PALMA	360	6.660
GUALIVA	LA PEÑA	4.628	22.070
SABANA OCCIDENTE	MADRID	1.100	5.545
MEDINA	MEDINA	840	2.100
SABANA OCCIDENTE	MOSQUERA	300	1.800
SUMAPAZ	PANDI	105	927
MEDINA	PARATEBUENO	3.130	18.045
BAJO MAGDALENA	PUERTO SALGAR	850	4.800
GUALIVA	QUEBRADANEGRA	3.495	17.125
ORIENTE	QUETAME	120	840
RIONEGRO	SAN CAYETANO	4.400	88.000
MAGDALENA CENTRO	SAN JUAN DE RIO SECO	2.945	2.779
GUALIVA	SASAIMA	1.129	9.720
UBATE	SIMIJACA	2.078	17.915
SOACHA	SOACHA	43	172
SABANA OCCIDENTE	SUBACHOQUE	452	4.764
UBATE	TAUSA	5.800	123.000
SABANA CENTRO	TENJO	810	7.320
SABANA CENTRO	TOCANCIPA	110	4.960
ORIENTE	UNE	3.420	70.000
ALMEIDAS	VILLAPINZON	2.650	47.700
GUALIVA	VILLETA	4.140	11.178
TEQUENDAMA	VIOTA	5.635	47.334

	Producción anual sin flores y follajes (Ton)	ÁREA SEMBRADA sin flores y follajes (Ha)
TOTAL CUNDINAMARCA	3.317.819	281.065
TOTAL MUNICIPIOS PARA ENCUESTA	826.739	87.785
PARTICIPACION	25%	31%

**Anexo F consolidado de las respuestas a las encuestas realizadas las
UMATAS.**

(Se presenta en digital – Formato Excel)

Anexo G: Lecciones aprendidas en la elaboración del inventario

Para documentar las lecciones aprendidas, se empleó la metodología empleada por la Ventana de Medio Ambiente y Cambio Climático de los programas de El Fondo para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio – MDG ACHIEVEMENT FUND. Por lo tanto, siguiendo las respectivas instrucciones, se diligenció el siguiente cuadro de recolección de información en torno a la actividad objeto de lecciones aprendidas.

I. Información General

Resumen de las lecciones aprendidas:

Dentro de los objetivos perseguidos con el proyecto PRICC Bogotá – Cundinamarca está la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional. En materia de mitigación, entendida esta en términos generales como la aplicación de proyectos y políticas destinadas a reducir las emisiones de GEI y a potenciar los sumideros, se requiere cuantificar las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas y la toma de decisiones. En Colombia no se cuenta con información explícita sobre emisiones de GEI a escala regional y tampoco con una metodología concertada a nivel nacional para su cálculo. Por lo tanto, se identificó la necesidad de realizar el inventario de emisiones GEI para la región Bogotá – Cundinamarca, como un inventario regional demostrativo, buscando dar respuesta a los interrogantes de cuáles son las aproximaciones metodológicas requeridas para la regionalización de inventarios de emisiones GEI y cuál es la contribución de emisiones GEI por sectores en la región Bogotá – Cundinamarca.

Respecto a las aproximaciones metodológica, se encontró que las directrices para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones GEI, del IPCC, pueden ser aplicadas a nivel regional, siempre y cuando se cuente con información de datos de actividad para cada región; para esto se requiere contar con fuentes de información que desagregan estadísticas nacionales por departamento o entidades regionales que recopilen su propia información aplicando en este caso una aproximación *Bottom-Up*⁸; o contar con metodologías que permitan regionalizar los datos a partir de información agregada nacionalmente mediante el uso de indicadores como PIB, N° habitantes, hectáreas sembradas, aplicando en este caso aproximación *Top-Down*⁹.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de información en Colombia, se estableció que para la mayoría de categorías de fuentes de emisiones GEI (21 de 26), es posible realizar una aproximación *Bottom-Up*, dado que se identificaron fuentes de información confiables de datos de actividad a nivel regional, las cuales pueden ser empleadas para la estimación de inventarios en otras regiones del país, ya que algunas suministran estadísticas nacionales desagregadas por departamento y otras corresponden a información de entidades departamentales del estado, que recogen información únicamente en su región, pero que hacen presencia con las mismas funciones en todos los departamentos del Colombia. Para 5 categorías es necesario emplear aproximación *Top-Down*, dado que las fuentes de información para los datos de actividad

⁸ Este enfoque va de lo particular a lo general, e intenta calcular los valores en las escalas mayores como las contribuciones de las partes que lo componen, buscando que estas partes sean lo más específicas posibles (regiones, ciudades, barrios, sectores económicos, etc) e intentando encontrar los valores de actividad lo más ajustados posible a la realidad (número de automotores, kilómetros recorridos, número de cabezas de ganado, número de árboles, toneladas de productos producidos, etc).

⁹ Este enfoque va de lo general a lo particular, parte de datos generales que pueden ser incluso estadísticas internacionales, e intenta cuantificar los valores en escalas menores (regiones, ciudades, sectores económicos, subcategorías, etc.), ya sean geográficas o económicas, por medio de comparaciones o proporciones respecto a los datos generales, por ejemplo, conociendo la cantidad de desechos nacionales que se generan, intentar inferir la cantidad de desechos generados en una región particular como proporcional a la fracción de población que tiene esa región respecto al total de población nacional, o del PIB regional respecto al PIB nacional, o internacional, etc.

requeridos suministran la información de forma agregada para el país.

II. Contexto y experiencia

Objetivo:

El objetivo propuesto es elaborar y analizar el inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para la región Cundinamarca – Bogotá en el marco del proyecto Plan Regional Integrado de Cambio Climático (PRICC), de forma concertada con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); con el propósito que su desarrollo metodológico sea demostrativo para efectuar otros inventarios de emisiones GEI regionales en Colombia.

Dato (situación inicial que fue la base para el desarrollo o implementación de la lección aprendida).

Para efectos del PRICC y demás iniciativas regionales que se adelanten en el país en materia de Cambio Climático, se requiere cuantificar las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas y la toma de decisiones en materia de mitigación. En Colombia no se cuenta con información explícita sobre emisiones de GEI a escala regional y tampoco con una metodología concertada a nivel nacional para su cálculo.

A nivel nacional, el IDEAM ha producido inventarios de emisiones nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 siguiendo los procedimientos de estimación de emisiones y su incertidumbre, establecidos por el IPCC (IDEAM, 2010). Los resultados obtenidos corresponden a un total de emisiones GEI para el país. Para la mayoría de las fuentes, estas emisiones no están desagregadas regionalmente y la metodología empleada no permite realizar dicha desagregación (IDEAM, 2010). Aunque existen reportes de inventarios de emisiones de GEI en regiones urbanas, tales como Bogotá y Montería,¹⁰ y la inclusión de algunos GEI en inventarios de emisión de contaminantes de criterio, tales como el inventario de Cundinamarca, estas estimaciones de emisiones no han sido desarrolladas bajo una metodología unificada y avalada a nivel nacional, lo que dificulta su comparación con los inventarios nacionales.

Estrategia/enfoque elegido:

Como marco metodológico general se emplearon las guías para la elaboración de inventarios de emisiones y sumideros de GEI del IPCC que comprenden las directrices de 1996, las buenas prácticas en la elaboración de los inventarios (versión 2000 y 2003) y las directrices del 2006 (IPCC, 2006). Estas guías proveen metodologías para la estimación de emisiones GEI a nivel nacional y se basan en el cálculo de emisiones a partir de datos de actividad¹¹ y factores de emisión¹² por defecto o propios para cada país o región; por lo tanto fue necesario identificar su aplicabilidad a nivel regional, revisando para cada módulo y categoría de fuente los requerimientos en cuanto a datos de actividad y demás variables de cálculo, e identificar las fuentes de información en cada caso, que suministraran datos con el nivel de desagregación que se requiera para inventarios regionales y establecer una metodología de “regionalización” en los casos en lo que no fue posible contar con datos a nivel local.

Implementación de la estrategia/enfoque elegido:

Como primer paso, de las categorías de fuentes de emisión citadas por el IPCC (5 módulos con sus respectivas categorías), se identificaron las existentes en la región, acudiendo a información de estadísticas del Departamento y Bogotá, literatura en diferente bibliografía y consulta con expertos.

¹⁰ Información suministrada por funcionarios del IDEAM

¹¹ Los datos de actividad se refieren a datos como consumo de combustibles, datos de producción, número de cabezas de ganado, etc; dependiendo de la categoría de fuente.

¹² Un factor de emisión es un valor representativo que busca relacionar la cantidad de un gas (contaminante o GEI) emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión de dicho gas.

Para las categorías de fuentes encontradas, se revisó la información necesaria sobre actividad y grado de detalle requerido para el cálculo, se identificaron las posibles fuentes de información (entidades, bases de datos, sistemas de información, etc.) y se realizó la recopilación acudiendo a bases de datos disponible en internet y efectuando la gestión necesaria a través de reunión con cada actor involucrado y posterior solicitud formal (carta).

Dependiendo de la información recopilada, del grado de desagregación y de su aplicabilidad a nivel regional, se determinó la fuente de información útil y confiable para el cálculo y se definió la metodología a emplear para la obtención de datos de actividad en cada categoría, esto es, aproximación *Top-Down* o *Bottom-up*, buscando que esta fuera aplicable en otras regiones del país, mediante el empleo de fuentes de datos oficiales que reportan datos a nivel nacional desagregadas por departamento o de indicadores apropiados para desagregar dicha información por regiones. Para la definición de estas metodologías fue necesario apoyarse en el desarrollo metodológico de otros inventarios regionales y locales realizados en otras partes del mundo y en la consulta con expertos de los sectores económicos y de la comunidad académica.

Posteriormente se realizó el procesamiento de la información teniendo en cuenta los requerimientos del cálculo, principalmente en cuanto a unidades de medida a emplear y nivel de desagregación requerida y se efectuó el cálculo de emisiones siguiendo las ecuaciones descritas por el IPCC para cada categoría.

Resultados e impactos: Describa cualquier resultado o impactos conseguidos, positivos o negativos

Se concluye que las directrices para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones GEI, del IPCC, pueden ser aplicadas a nivel regional, siempre y cuando se cuente con información de datos de actividad para cada región; para esto se requiere contar con fuentes de información que desagregan estadísticas nacionales por departamento o entidades regionales que recopilen su propia información aplicando en este caso una aproximación *Botto Up*; o contar con metodologías que permitan regionalizar los datos a partir de información agregada nacionalmente mediante el uso de indicadores como PIB, N° habitantes, hectáreas sembradas, aplicando en este caso aproximación *Top-Down*.

En cuanto a los datos de actividad, se encontró que para la mayoría de categorías existentes en la región, es posible realizar una aproximación *Bottom-Up*, teniendo en cuenta que se identificaron fuentes de información confiables de datos a nivel regional; y se determina que dichas fuentes de información, pueden ser empleadas para la estimación de inventarios en otras regiones del país dado que algunas suministran estadísticas nacionales desagregadas por departamento y otras corresponden a información de entidades departamentales del estado, que hacen presencia con las mismas funciones en todos los departamentos del Colombia. Los datos de actividad requeridos y las fuentes de información identificadas son:

- ✓ Industrias de la energía: Consumo de combustibles reportado directamente por la central térmica.
- ✓ Transporte: Consumo de diesel y gasolina con la información suministrada por la Unidad de planeación Minero Energética –UPME-, calculado a partir de la sobre tasa cobrada a estos combustibles. Para gas natural, información de ventas de GNV reportada por la Comisión de Regulación de Energía Gas –CREG- reportada en su página de internet.
- ✓ Residencial: Datos de suministro de gas natural y gas licuado del petróleo reportados por el Sistema Único de Información –SUI - de la Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios –SISPD-.
- ✓ Cemento, vidrio y coque: datos de producción de la Encuesta Anual Manufacturera –EAM- anual publicada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE- en su página de Internet.
- ✓ Número de animales: información sobre ganado bovino suministrada por la Federación Colombiana de Ganaderos FEDEGAN; para las demás categorías pecuarias (búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas y asnos, cerdos, aves de corral) información de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Cundinamarca SADR
- ✓ Producción anual de cultivos: base de datos agrícola de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo

Rural de Cundinamarca - SADR.

- ✓ Superficie cultivada en suelos Orgánicos –hitosoes: Cruce de información entre la capa de tipos de suelo de Cundinamarca del Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC- y las Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional, escala 1:100.000, suministrada por el IDEAM.
- ✓ Total anual de residuos sólidos urbanos dispuestos en tierra y caracterización: información suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR – Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible, reportada por los respectivos operadores y en los PGIRS (Programa Gestión Integral de Residuos Sólidos) consultados en la Secretaría de Ambiente de Cundinamarca.
- ✓ Componente orgánico degradable en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas PTRS: datos directos de las PTARS recopilados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR –
- ✓ Componente orgánico degradable en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales: información directa de las plantas que reportan al registro único ambiental manufacturero (RUA) administrado por el IDEAM.

Para 4 categorías se empleó aproximación *Top-Down*, dado que las fuentes de información para los datos de actividad requeridos suministran la información de forma agregada para el país. Las fuentes de información a nivel nacional y los indicadores empleados para la regionalización de los datos pueden ser aplicados para la estimación de las emisiones generadas por estas categorías en otros departamentos, en tanto en cada región no se identifiquen otras fuentes de información con reporte de datos regionales. Las categorías para las cuales se empleó esta metodología y los indicadores empleados para su aproximación son:

- ✓ Industria manufacturera: consumos de combustible del Balance Energético Nacional de Colombia BEN, generado por la UPME y datos de valor agregado por ramas de actividad económica (en este caso para industrias manufactureras código CIUU a 2 dígitos) reportados por el DANE en las cuentas nacionales y departamentales.
- ✓ Comercial y público: consumo de combustibles (excepto gas natural para el cual realiza aproximación *Bottom-Up*) BEN 2008 (versión actualizada y revisada) generado por la UPME y datos de valor agregado por ramas de actividad económica (en este caso para sector comercial) reportados por el DANE en las cuentas nacionales y departamentales.
- ✓ Residencial: consumo de gasolina total en Colombia reportado por el BEN 2008 y estimaciones de población nacional y departamental reportados por el DANE para los años 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 – 2020.
- ✓ Uso de sustitutos SAO: importaciones a nivel nacional del Banco de Datos de Comercio Exterior BACEX del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo MCIT e información sobre el PIB nacional y departamental de las Cuentas económicas Nacionales y departamentales de Colombia generadas por el DANE.
- ✓ Total de fertilizante sintético utilizado en la región: información del consumo de fertilizantes sintéticos a nivel nacional reportado por el ICA en su publicación anual “Comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelos 2008” y total de área sembrada en cultivos en Colombia y en Cundinamarca, datos reportados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y por la Secretaría de Agricultura y desarrollo rural del departamento.

Respecto a las demás variables requeridas para el cálculo (factores de emisión y otros), se encuentra que es necesario emplear valores por defecto suministrados por el IPCC, seleccionando de los posibles los más apropiados a la región y país, dado que para la mayoría de los casos no se encuentra con investigaciones o datos a nivel local (excepto para la categoría de fermentación entérica, en donde el IDEAM ha desarrollado factores de emisión por regiones para ganado bovino; sin embargo dichos valores aun requieren de validación). Por las razones anteriores, el nivel metodológico a emplear es el de nivel 1 propuesto por el IPCC, en donde se realizan estimaciones basadas en datos de actividad propios del país y demás variables

asumidas por defecto del IPCC.

Evidencia:

En el presente documento se describe el proceso metodológico para la realización del inventario de emisiones de GEI para la región Cundinamarca – Bogotá, el cual se constituye en la principal evidencia de lecciones aprendidas en cuanto a la realización de inventarios de emisiones regionales.

Aplicación o replicación potencial:

Se espera que las lecciones aprendidas sean un insumo para la definición de protocolos de elaboración de inventarios regionales en Colombia, que sea elaborados por la autoridad competente y que suministren procedimientos de fácil aplicabilidad (en términos de tiempo y costo) y que a través de su aplicación se obtengan resultados comparables entre todos los inventarios de las regiones y con los inventarios nacionales realizados en el marco de las Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de Cambio Climático.

III. Productos

Productos de información:

Inventario emisiones GEI Bogotá Cundinamarca – Resultados, documento anexo técnico y resumen ejecutivo.