

A large tree with bright yellow flowers dominates the left side of the image. The background shows a dry, hilly landscape with sparse vegetation and a clear sky. The title is centered at the top in a bold, brown font.

CAPÍTULO DOS

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

AUTORES

DALIA MERCEDES BUITRAGO BENAVIDES,
MAURICIO CABRERA LEAL, MARÍA CECILIA CARDONA R.,
SHIRLEY CASTILLO DÍAZ, MARTHA DUARTE O.,
MARÍA MARGARITA GUTIÉRREZ ARIAS,
PEDRO SIMÓN LAMPREA QUIROGA,
RICARDO JOSÉ LOZANO P., HELMUTH E. NIEVES O.,
CLAUDIA PATRICIA OLARTE V., LUIS GABRIEL PADILLA
TENJO, ADRIANA PEDRAZA GALEANO,
ANA DERLY PULIDO GUÍO, JULIANA EDITH RODRÍGUEZ,
GABRIEL DE JESÚS SALDARRIAGA OROZCO,
MAGDA MALLEN SIERRA URREGO, LUZ DARY YEPES

Colaboradores

Abonos Colombianos S.A. (Abocol S.A.), Acerías de Caldas S.A. (ACASA S.A.),
Acerías Paz del Río, Asociación Colombiana de Industrias Plásticas
(Acoplásticos), Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), ARGOS S.A.,
Asociación de Ganaderos de Córdoba (Ganacor), Asociación Nacional de
Industriales (ANDI), Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos
Domiciliarios y Actividades Complementarias e Inherentes (Andesco), Autoridades
Ambientales de Grandes Centros Urbanos, Avianca, Brinsa S.A., Caldesa S.A.,
Centrales Eléctricas de Nariño S.A. - ESP,
Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), Cerromatoso S.A.,
Codensa S.A. - ESP, Compañía de Electricidad de Tulúa S.A. (CET S.A.),
Conservación Internacional (CI), Corporación Autónoma Regional del Valle del
Cauca (CVC), Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá),
Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor), Corporación Autónoma
Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma Regional de la
Orinoquia (Corporinoquia), Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA),
Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga
(CDMB), Corporación Carbono y Bosques (C&B), Corporación Colombiana
Internacional (CCI), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
(Corpoica) - Centro de Investigación La Libertad y Turipán, Corporación Nacional
de Investigación y Fomento Forestal (Conif), Departamento Nacional de
Planeación (DANE), Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de
Barranquilla (DAMAB), Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales de
Colombia (DIAN), Ecopetrol S.A., Electrificadora del Caquetá, Electrificadora del
Meta S.A. - ESP, Emgesa, Empresa de Energía de Bogotá S.A. - ESP, Empresa
de Energía del Pacífico S.A., Empresa de Energía del Putumayo S.A. - ESP,
Empresas Municipales de Cartago S.A. - ESP, Empresas Públicas de Medellín
(EPM), Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA Cartagena),
Federación Ganadera y Fondo Ganadero del Meta, Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia, Federación Nacional de Cultivadores de Cereales
(Fenalce), Federación Nacional de Ganaderos (Fedegan), Federación Nacional
de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), Fondo Ganadero de Córdoba,
Gobernación del Meta, Secretaría de Agricultura y Ganadería, Grupo Siderúrgico
(DIACO S.A.), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi),
Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Instituto Colombiano de Desarrollo Rural
(Incoder), Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), Instituto de
Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Instituto Geográfico Agustín
Codazzi (IGAC), Interconexión Eléctrica S.A. - ESP, Isagen, Jardín Botánico de
Bogotá José Celestino Mutis, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR),
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Ministerio de
Comercio Exterior, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte,
Monómeros Colombo Venezolanos S.A., Oficina contra la Droga y el Delito de las
Naciones Unidas (Unodc), Proyecto Sistema Integrado para el Monitoreo de
Cultivos Ilícitos -Simci II, Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA),
Siderúrgica de Occidente S.A., Siderúrgica Nacional (Sidenal S.A.),
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), Transelca S.A. -
ESP, Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC), Unidad de Planeación
Minero Energética (UPME), Universidad de Córdoba, Departamento de Ciencias
Pecuarias, Universidad del Tolima (UT), Universidad Distrital Francisco José de
Caldas (UDFJC), Universidad Industrial de Santander (UIS)
- Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (Ceiam),
Universidad Nacional de Colombia.

Coordinación y supervisión

Mauricio Cabrera Leal
María Margarita Gutiérrez Arias
Martha Duarte O.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	123
2.1 METODOLOGÍA	123
2.2 MESAS TÉCNICAS DE TRABAJO PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES	124
2.2.1 Alcance y estructura del inventario según las directrices del IPCC	125
2.3 RESULTADOS DEL INVENTARIO DE GEI PARA COLOMBIA	126
2.3.1 Emisiones de GEI por módulo y categoría año 2000	126
2.3.2 Emisiones de GEI por módulo y categoría año 2004	127
2.3.3 Participación de cada módulo en las emisiones totales por año	128
2.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo	129
2.3.5 Emisiones de Colombia frente al total mundial y regional	130
2.3.6 Emisiones totales de Colombia frente a los reportes de otros países de América Latina	132
2.3.7 Gases más representativos en el país y totales emitidos por año	134
2.3.8 Módulo de energía	137
2.3.9 Módulo de procesos industriales	139
2.3.10 Módulo de agricultura	140
2.3.11 Módulo uso del suelo (USCUSS)	143
2.3.12 Módulo de residuos	145
2.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO .	147
2.4.1 Módulo de energía	148
2.4.2 Módulo de procesos industriales	148
2.4.3 Módulo de agricultura	149
2.4.4 Módulo de USCUSS	149
2.4.5 Módulo de residuos	150
2.4.6 Necesidades de información	150
BIBLIOGRAFÍA	150

	Página
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla 2.1 Potencial de calentamiento global en unidades de CO ₂ eq para los diferentes GEI	124
Tabla 2.2 Principales Módulos y Categorías / actividades aportantes de GEI, año 2000	126
Tabla 2.3 Principales Módulos y Categorías / actividades aportantes de GEI, año 2004	127
Tabla 2.4 Comparación de emisiones GEI, años 1990 y 2000; Mundial - América Latina y el Caribe - Colombia	136
Tabla 2.5 Principales Módulos y Categorías / % de CO ₂ eq, año 2004	148
CONTENIDO DE FIGURAS	
Figura 2.1 Entidades participantes en las mesas de trabajo de cada uno de los módulos	125
Figura 2.2 Emisiones totales GEI en CO ₂ eq por módulo.	128
Figura 2.3 Reparto de emisiones totales de GEI por módulo	128
Figura 2.4 Participación de cada módulo (sector) y emisión total de GEI año 2004	129
Figura 2.5 Emisiones mundiales de GEI antropógenos	130
Figura 2.6 Emisiones totales de CO ₂ eq con USCUS de los principales países del Anexo I	130
Figura 2.7 Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O global sin USCUS	131
Figura 2.8 Emisiones de PFC, HFC y SF ₆ en el mundo	131
Figura 2.9 Participación de Colombia con respecto con las emisiones mundiales de GEI	131
Figura 2.10 Principales países emisores de GEI en América Latina (sin USCUS). Años 1990 a 2005	132
Figura 2.11 Comportamiento de las emisiones por módulo y años de algunos países de Latinoamérica	132
Figura 2.12 Emisiones totales / año de GEI de algunos países de América Latina (con USCUS).	133
Figura 2.13 Emisiones totales de GEI de algunos países de América Latina (con USCUS)	133
Figura 2.14 Participación de Colombia comparado con las emisiones de países de Latinoamérica	133
Figura 2.15 Participación de los principales GEI en Colombia	134
Figura 2.16 Participación de los GEI en Colombia. Año 2004	134
Figura 2.17 Emisiones de CO ₂ en cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica	134
Figura 2.18 Emisiones de CH ₄ en CO ₂ eq de cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica	134
Figura 2.19 Emisiones de N ₂ O en CO ₂ eq de cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica	135
Figura 2.20 Emisiones per cápita de GEI en Colombia en CO ₂ eq	135
Figura 2.21 Emisiones per cápita de GEI en regiones	135
Figura 2.22 PIB per cápita y PIB Total en PPP (USD)	136
Figura 2.23 Emisiones per cápita y kg de CO ₂ eq / USD del PIB	136
Figura 2.24 Participación de las emisiones de CO ₂ eq de cada módulo para algunos países de Latinoamérica	136
Figura 2.25 Comparación porcentual por años de emisiones totales en CO ₂ eq categorías Módulo de energía	138
Figura 2.26 Comparación (%) por años de emisiones totales en CO ₂ eq categorías Módulo de procesos industriales	140
Figura 2.27 Comparación (%) por años de emisiones totales en CO ₂ eq categorías del Módulo de agricultura	142
Figura 2.28 Participación Módulo de energía por categoría, año 2000	143
Figura 2.29 Participación Módulo de agricultura por categoría, año 2004	143
Figura 2.30 Aporte porcentual de CH ₄ por Módulo por año	143
Figura 2.31 Aporte porcentual de N ₂ O por Módulo por año	143
Figura 2.32 Comparación porcentual por años de las emisiones totales en CO ₂ eq categorías del Módulo USCUS	145
Figura 2.33 Participación Módulo de residuos, categoría año 2004	146
Figura 2.34 Participación Módulo de procesos industriales, categoría año 2004	146
Figura 2.35 Comparación porcentual por años de las emisiones totales en CO ₂ eq categorías del Módulo de residuos	147
CONTENIDO DE CUADROS	
Cuadro 2.1 Unidades, equivalencias y formas de expresión común	126
Cuadro 2.2 Principales cambios observados en el clima y sus efectos.	129
Cuadro 2.3 El proceso de desnitrificación.	142
CONTENIDO DE FOTOS	
Foto 2.1 Portada del Capítulo: Árbol del Puy (Tabebuia sp.) Jagua de Ibirico (Cesar) Pedro Simón Lamprea Q., 2007	119

INTRODUCCIÓN

De conformidad con las directrices y las Guías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) acerca de las buenas prácticas y el manejo de la incertidumbre, Colombia realizó el inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) para los años 2000 y 2004. Lo anterior teniendo en cuenta que para la Segunda Comunicación Nacional (SCN) las partes no incluidas en el Anexo I, adquirieron el compromiso de proporcionar el reporte correspondiente del inventario nacional de GEI para el año 2000¹, quedando por consiguiente el año 2004 como un aporte discrecional que mejora el análisis y proyección para el país.

A Colombia, por sus condiciones de desarrollo económico, le corresponden las directrices para las Partes no incluidas en el Anexo I de la convención, por consiguiente, de conformidad con lo dispuesto en el inciso a) del párrafo 1 del Artículo 4 y en el inciso a) del párrafo 1 del artículo 12 de la Convención: "cada parte comunicará a la conferencia de las partes, un inventario nacional de las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero (GEI) no controlados por el Protocolo de Montreal, en la medida en que sus posibilidades lo permitan, ateniéndose a lo dispuesto en las presentes directrices".

En este capítulo se presenta un resumen con los resultados más relevantes de cada uno de los módulos y sectores, según las metodologías del IPCC y se analizan estas emisiones con respecto a otros países según ámbitos regionales y globales. Los módulos a los cuales se calcula las emisiones de GEI son: Energía; Procesos industriales; Agricultura; Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUS²) y Residuos.

El lector que esté interesado en obtener los detalles del proceso, la metodología y los análisis para cada uno de los módulos o sectores, puede consultar la publicación correspondiente que se tituló: Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero 2000 y 2004.

2.1 METODOLOGÍA

La descripción de la metodología para la estimación del inventario nacional de emisiones de GEI para los años 2000 y 2004, tiene como fundamento lo expresado en la Decisión 17/COP8 "Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el Anexo I de la Convención", resultado del octavo periodo de la Conferencia de las partes, celebrado en el año 2002.

En dicho sentido, las directrices del IPCC³ proponen a las Partes, el uso de diferentes métodos o niveles, priorizando los que produzcan las estimaciones más exactas de acuerdo con las circunstancias nacionales y la disponibilidad de datos. Asimismo, se anima a las partes a que utilicen metodologías nacionales cuando estimen que reflejan mejor su situación nacional, siempre que esas metodologías sean coherentes y transparentes y estén bien documentadas. Además, ofrecen una metodología que comprende factores de emisión por omisión o datos de actividad por omisión o defecto, cuando no se tiene información detallada para las condiciones nacionales.

En concordancia con lo establecido por las directrices del IPCC, el inventario es el resultado del ejercicio participativo de las instituciones que tienen pertinencia en el tema del módulo en particular, con las cuales se realizó la conformación de mesas interinstitucionales de trabajo.

1 Naciones Unidas, Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático UNFCCC/CP/2002/7/Add.2 del 28 de enero de 2003. "Decisión 17/CP.8. Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención."

2 También aparece con las siglas en inglés: Lulucf. (Land use, land use-change and forestry)

3 El Ingei ha sido preparado de acuerdo con las directrices del IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de GEI (Revised, 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), las orientaciones del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories) y la guía de buenas prácticas para el Módulo de uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (Good practice guidance for land use, land use change and forestry).

En el presente inventario se estiman emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O). Además, se estiman las emisiones por fuente de hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), así como los precursores de GEI como monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM). También se incluyen otros gases no controlados por el Protocolo de Montreal como son los óxidos de azufre (SO_x), que figuran en las directrices del IPCC.

Por otra parte, se adjuntan como partidas informativas las estimaciones de las emisiones generadas por los combustibles del transporte aéreo y marítimo internacional que, por directriz del IPCC, no se incluyen en los totales nacionales.

Los potenciales de calentamiento global (PCG⁴) utilizados para informar de las emisiones expresadas en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), están basados en los efectos de los gases de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años, los cuales se relacionan en la Tabla 2.1, donde se presentan las respectivas equivalencias.

Tabla 2.1 Potencial de calentamiento global en unidades de CO₂ eq para los diferentes GEI

Nombre	Fórmula Química	Potencial de Calentamiento Global (PCG ó GWP)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido nítrico	N ₂ O	310
Tetrafluoruro de carbono (PFC)	CF ₄	6.500
Hexafluoruro de carbono (PFC)	C ₂ F ₆	9.200
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23.900
Trifluorometano	HFC-23	11.700
Difluorometano	HFC-32	650
Pentafluoroetano	HFC-125	2.800
Trifluoroetano	HFC-143 ^a	3.800
Difluoroetano	HFC-152 ^a	140
Tetrafluoroetano	HFC-134 ^a	1.300

Debido a la variabilidad existente entre las actividades radiativas de los diferentes GEI y sus tiempos de residencia atmosférica, es necesario hacer la conversión de las emisiones de cada uno de los GEI en unidades de CO₂ equivalentes (CO₂ eq), lo cual permite integrar los efectos de las emisiones de varios gases con el fin de ser comparados. Este reporte presenta resultados globales para la totalidad de los GEI anteriormente mencionados en unidades de CO₂ eq usando los potenciales de calentamiento global (GWP) para un horizonte de 100 años contenidos en el "1995 IPCC Second Assessment Report (IPCC 1996)".

Para cada uno de los módulos (o sectores), se realizó el cálculo de incertidumbre asociado con los datos del inventario. Dicha prueba se orientó a establecer las actividades que se deben efectuar para mejorar la producción de información estadística necesaria por categoría de fuente, además de enfocar los esfuerzos de los recursos e investigación aplicada para los inventarios futuros. Los resultados obtenidos se presentan de conformidad con las recomendaciones y directrices del IPCC.

Más adelante, en el presente capítulo, se describe el alcance y estructura de la información (categorías) por fuentes y sumideros (absorciones) de gases de efecto invernadero.

2.2 MESAS TÉCNICAS DE TRABAJO PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES

El ejercicio de la estimación del inventario de GEI fue coordinado por el Ideam, con el fin de obtener resultados consensuados con las entidades sectoriales pertinentes y entregar un documento que exprese los resultados desarrollados por el país. Para tal propósito se crearon "mesas técnicas de trabajo interinstitucionales" donde se abordaron los diferentes temas relacionados con el inventario. En la Figura 2.1, se presentan las entidades que conformaron las mesas técnicas de trabajo por módulo.

⁴ Una emisión de CO₂ equivalente (eq): es la cantidad de emisión de CO₂ que ocasionaría durante un horizonte temporal dado, el mismo forzamiento radiativo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de un GEI de larga permanencia o de una mezcla de GEI. Para un GEI, las emisiones de CO₂ eq se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su potencial de calentamiento global (PCG) para un horizonte temporal dado. Para una mezcla de GEI, se obtienen sumando las emisiones de CO₂ eq de cada uno de los gases. Las emisiones de CO₂ eq constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático. (IPCC, 2007).

Figura 2.1 Entidades participantes en las mesas de trabajo de cada uno de los módulos

ENERGÍA	PROCESOS INDUSTRIALES	AGRICULTURA	USO DE LA TIERRA, CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA	RESIDUOS
- Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Transporte - Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) - Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol) - Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Distribuidores de combustibles: TERPEL, EXXON MOBIL y CHEVRON TEXACO - Universidad Nacional de Colombia	- Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial (MAVDT) Unidad Técnica de Ozono (UTO) - Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) - Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol) - Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) - Ministerio de Comercio (Base de datos BACEX) - Departamento de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) - Federación colombiana de Industrias Metalúrgicas (FEDEMÉTAL) - Asociación Nacional de Industriales (ANDI), Cámara de Pulpa, Papel y Cartón - Asociación Colombiana de productores de plásticos (ACOPLÁSTICOS) - Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC) - Empresas: Abocol, Monómeros, Caldesa, Propal, Diaco, Siderúrgica Nacional, Acasay Brinsa	- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Corporación Autónoma Regional del Valle de la Sinú y San Jorge (CVS) - Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía - Gobernación del meta (Secretaría de Agricultura y Ganadería) - Federación Ganadera de Córdoba (GANACOR) - Centro Colombiano de Investigaciones Agropecuarias (CORPOICA) - Federación Ganadera del Meta - Universidad de Córdoba, Departamento de Ciencias Pecuarias - Fondos Ganaderos de Córdoba y Meta - Corporación Colombia Internacional	- Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial (MAVDT) - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Corporación Nacional de Investigación y Fomento forestal (CONIF) - Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) - Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) - Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) - Parques Nacionales de Colombia - Jardín Botánico José Celestino Mutis - Universidades Distrital, del Tolima y Nacional (sede Medellín) - Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) - Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - Unidades Ambientales de Grandes Centros Urbanos	- Departamento nacional de Planeación (DNP) - Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial (MAVDT): Vice ministerio de Agua y Saneamiento Básico; y Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible - Universidad Nacional de Colombia, Programa de Investigación de Residuos Sólidos - Corporaciones Autónomas Regionales - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Dirección Técnica de Aseo, Dirección Técnica de Alcantarillado

Fuente: Ideam, 2008

El ejercicio interinstitucional con las mesas de trabajo permitió, además del suministro de información para la estimación del Inventario de GEI, constituirse en un espacio de discusión y concertación de resultados. Las principales actividades se orientaron en la coordinación de reuniones, ajuste y precisión de conceptos y resultados, además de la determinación de las fuentes primarias de información. La obtención de los resultados consensuados no hubiese sido posible sin el concurso oportuno de las entidades funcionales y competentes en la temática de cada uno de los módulos, y la información de muchas otras instituciones.

2.2.1 Alcance y estructura del inventario según las directrices del IPCC

Con base en las orientaciones del IPCC sobre las buenas prácticas, las Partes no incluidas en el Anexo I, deben hacer, en lo posible, todos los análisis de las fuentes esenciales, de tal forma que se reflejen las circunstancias nacionales.

En el inventario se tienen en cuenta las fuentes esenciales, como aquellas que son prioritarias dentro del sistema nacional del inventario, debido a que su estimación tiene mayor influencia en el valor total del inventario de GEI del país en términos del nivel absoluto de emisiones, de la tendencia de las emisiones o ambos. Con la identificación de las fuentes esenciales en el inventario nacional, los países pueden darle prioridad a los esfuerzos para mejorar sus estimaciones totales. Tal proceso lleva a mejorar la calidad, además de dar una mayor confianza en las estimaciones de sus emisiones.

Es importante resaltar que en la medida en que se elaboren inventarios con un mejor grado de detalle y mayor periodicidad, se pueden precisar las tendencias de las emisiones de GEI, lo que permite conocer los avances y visualizar los esfuerzos y beneficios que se realizan en materia de mitigación.

Con base en la Primera Comunicación Nacional (PCN), Colombia reportó la información estimada para los años 1990 y 1994; para esta Segunda Comunicación Nacional (SCN), se presentan los resultados obtenidos para los años 2000 y 2004.

En el Cuadro 2.1 se muestran las principales unidades, equivalencias y formas de expresión de uso común en la estimación y cálculos de las emisiones de gases de efecto invernadero. El manejo de tales unidades sin duda facilitará la lectura del documento.

Cuadro 2.1 Unidades, equivalencias y formas de expresión común

Factor de multiplicación	Notación	Prefijo o Unidad	Símbolo	Otra forma de expresión
1 000 000 000 000 000	10 ¹⁵	peta	P	miles de billones
1 000 000 000 000	10 ¹²	tera	T	Billones (millones de millones)
1 000 000 000	10 ⁹	giga	G	miles de millones (en las expresiones estadounidenses equivale a billones)
1 000 000	10 ⁶	mega	M	millones
1 000	10 ³	kilo	k	miles
Las unidades de expresión común en el inventario de GEI				
	1	gramo	g	
	1	gigagramo	Gg	miles de toneladas o kilotoneladas
	100 ³	gigagramos	Gg	100 millones de toneladas (megatoneladas)
	1	teragramo	Tg	millones de toneladas o megatoneladas (Mt)

Fuente: Adaptado por los autores, 2009; tomado de diferentes fuentes.

2.3 RESULTADOS DEL INVENTARIO DE GEI PARA COLOMBIA

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los inventarios de gases de efecto invernadero para cada módulo, en esta sección se presenta una relación de las cifras obtenidas en los años 2000 y 2004, tanto en el ámbito interno del país como en el regional y global.

A continuación se relacionan los resultados obtenidos del inventario para los años 2000 y 2004, en las categorías principales. Los detalles se pueden consultar en el anexo correspondiente.

2.3.1 Emisiones de GEI por módulo y categoría año 2000

Los resultados obtenidos para el año 2000 del inventario de gases de efecto invernadero (INGEI) para cada uno de los módulos se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Principales Módulos y Categorías / actividades aportantes de GEI, año 2000

Módulos y Categorías de fuentes y sumideros 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	177.575,35	100,00%	
1. ENERGÍA	65.507,35	36,89%	100,00%
-----	57.268,11	32,25%	87,42%
1.A.1. Consumo de combustibles fósiles en Industrias de Generación de Energía (centrales térmicas, autoproducentes, centros de tratamiento de gas, refinerías, altos hornos y coquerías)	16.845,83	9,49%	25,72%
1.A.2. Consumo de combustibles fósiles con fines energéticos en Industrias Manufacturera y Construcción.	13.940,66	7,85%	21,28%
1.A.3. Consumo de combustibles fósiles en el Sector Transporte (Aviación Nacional, Transporte por carretera, Transporte Ferroviario, Navegación Nacional).	19.987,37	11,26%	30,51%
1.A.4. Consumo de combustibles fósiles con fines energéticos en otros sectores (Comercial / Institucional, Residencial, Agropecuario y otros).	6.494,25	3,66%	9,91%
1.B. Emisiones fugitivas.	7.523,64	4,24%	11,49%
1.B.1. Minería de carbón.	3.279,99	1,85%	5,01%
1.B.2. Petróleo y gas natural.	4.243,65	2,39%	6,48%
1.C. Quema de biomasa.	715,60	0,40%	1,09%
2. PROCESOS INDUSTRIALES (Transformación física y química de materias primas).	7.343,99	4,14%	100,00%
2.A. Producción de minerales no metálicos (cemento y clínker, cal y usos del carbonato de sodio).	3.263,05	1,84%	44,43%
2.B. Producción de químicos (amoníaco, ácido nítrico, usos de carburo de calcio, negro de humo, coque y metanol).	482,70	0,27%	6,57%
2.C. Producción de metales (hierro, acero, aleaciones ferrosas y aluminio).	2.633,85	1,48%	35,86%
2.D. Uso de SF ₆ (uso de SF ₆ en equipos eléctricos).	717,00	0,40%	9,76%
2.E. Utilización de Sustitutos SAO. /Usos para: producción de espumas, como solventes, refrigeración móvil, refrigeración fija, aerosoles y extintores de incendios).	247,39	0,14%	3,37%
3. AGRICULTURA	65.169,47	36,70%	100,00%
3.A. Fermentación entérica (ganado bovino, búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas, asnos y cerdos).	30.928,80	17,42%	47,46%
3.B. Manejo del estiércol (bovinos, búfalos, ovejas, cabras, caballos, mulas, asnos, cerdos, aves de corral y almacenamiento en sólido).	1.137,67	0,64%	1,75%
3.C. Cultivos de arroz (irrigado y seco).	1.274,91	0,72%	1,96%

(Continúa)

Módulos y Categorías de fuentes y sumideros 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
3.D. Suelos agrícolas (utilización de fertilizantes nitrogenados)	31.697,50	17,85%	48,64%
3.E. Quema prescrita de sabanas.	61,80	0,03%	0,09%
3.F. Quema en el campo de residuos agrícolas.	68,79	0,04%	0,11%
4. USO DE LA TIERRA, CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (USCUS)	30.238,90	17,03%	100,00%
4.A. Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa.	6.412,76	3,61%	21,21%
4.B. Conservación de bosques y praderas.	16.639,67	9,37%	55,03%
4.C. Abandono de tierras cultivadas.	-150,47	-0,08%	-0,50%
4.D. Emisiones y absorciones de CO ₂ del suelo.	7.336,94	4,13%	24,26%
5. TRATAMIENTO DE RESIDUOS	9.315,64	5,25%	100,00%
5.A. Disposición de residuos sólidos (en tierra).	8.236,62	4,64%	88,42%
5.B. Tratamiento de aguas residuales (domésticas, comerciales e industriales).	391,44	0,22%	4,20%
5.C. Manejo de aguas servidas humanas.	687,58	0,39%	7,38%

Fuente: IDEAM, 2008.

Al sumar la participación en unidades de CO₂ equivalentes de los Módulos de agricultura y USCUS, con respecto a las emisiones totales, permite ver el aporte significativo en la emisión de gases del sector agropecuario (alrededor del 53%) en los años de inventario (2000 y 2004).

2.3.2 Emisiones de GEI por módulo y categoría año 2004

En la Tabla 2.3, se presenta el resumen agregado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) obtenidas para el año 2004; en esta tabla se presentan las categorías más relevantes según el aporte de emisiones obtenido a través del cálculo.

Tabla 2.3 Principales Módulos y Categorías / actividades aportantes de GEI, 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 Ferroviario, 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 clínker, 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 secano).	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 (USCUS)	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, 2008.

Después del aporte del Módulo agropecuario (Agricultura y USCUS: 53%), la quema de combustibles fósiles (31%), representa en el Módulo de energía un significativo aporte en la emisión de GEI respecto a las emisiones totales (37%).

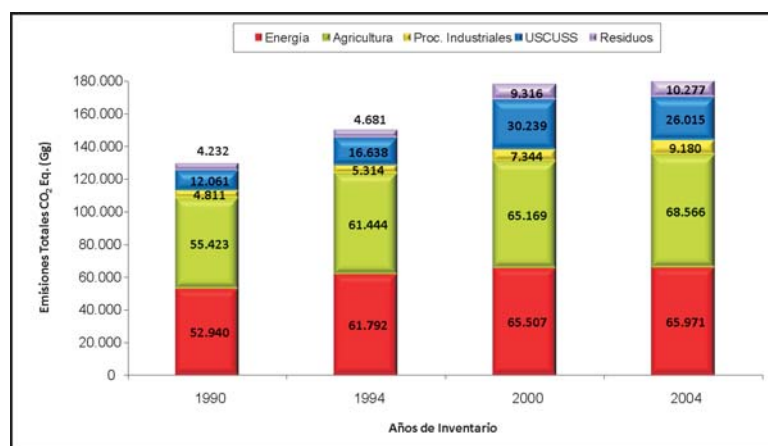
2.3.3 Participación de cada módulo en las emisiones totales por año

Las emisiones totales para los años 1990 y 1994 fueron 129.368,4 Gg y 149.867,8 respectivamente y para el año 2000 fue de 177.575,35 Gg CO₂ eq y para el 2004 180.008,18 Gg CO₂ eq.

La contribución de cada módulo (sector) en la emisión de GEI, tanto del primer inventario (1990 y 1994) como del segundo (2000 y 2004), se puede observar en las Figuras 2.2 y 2.3.

De la Figura 2.2, que presenta los valores de las emisiones en gigagramos, se puede apreciar el incremento anual similar en las emisiones totales derivadas de los Módulos de energía (930 Gg/año); agricultura (938 Gg/año); Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (996 Gg/año); y, en menor proporción, las emisiones provenientes del Módulo de residuos (432 Gg/año) y Procesos Industriales (312 Gg/año).

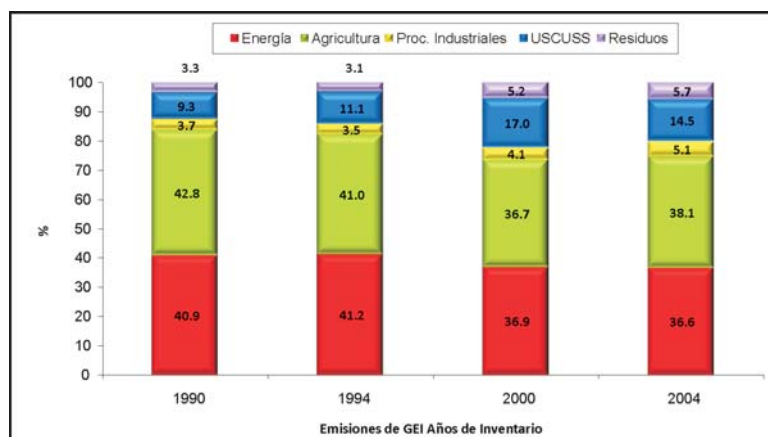
Figura 2.2 Emisiones totales GEI en CO₂ eq por módulo.



Fuente: Los autores, 2009

En la Figura 2.3, se presenta el reparto porcentual de cada módulo (sector) dentro del año del inventario. Al tomar los promedios de los años iniciales (1990 y 1994), con respecto a los dos últimos años de inventario (2000 y 2004), se puede notar una disminución en la participación de los sectores de energía (-4,3%) y agricultura (-4,5%); cifras que se distribuyen principalmente en el incremento de los módulos de Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (+5,6%), y el resto en menor proporción en los Procesos Industriales (+1,0%) y Residuos (+1,9%).

Figura 2.3 Porcentaje de emisiones totales de GEI por módulo



Fuente: Los autores, 2009

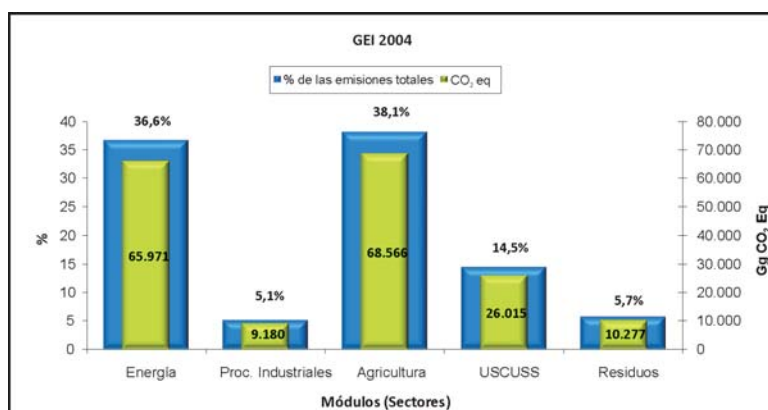
Los valores de las emisiones de CO₂ eq por sector con sus respectivos porcentajes para el año 2004, se presentan en la Figura 2.4.

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.

De la Figura 2.4, que ilustra la participación en porcentaje en el año 2004, junto con el aporte en gigagramos de los diferentes módulos o sectores en las emisiones totales de GEI en unidades de CO₂ eq, se destaca lo siguiente:

- 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.
- 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.
- 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.

Figura 2.4 Participación de cada módulo (sector) y emisión total de GEI año 2004



Fuente: Los autores, 2009

2.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo

Las emisiones mundiales de GEI han crecido en el mundo desde la época preindustrial, observándose un incremento del 70% entre 1970 y el 2004. La tasa de crecimiento de las emisiones en unidades de CO₂ eq fue de 0,92 gigatoneladas por año durante la década de 1995 a 2004, mientras que en los años de 1970 a 1994, alcanzó 0,43 gigatoneladas por año⁵. En el Cuadro 2.2, se destacan los principales cambios observados en el clima y sus efectos.

Cuadro 2.2 Principales cambios observados en el clima y sus efectos.

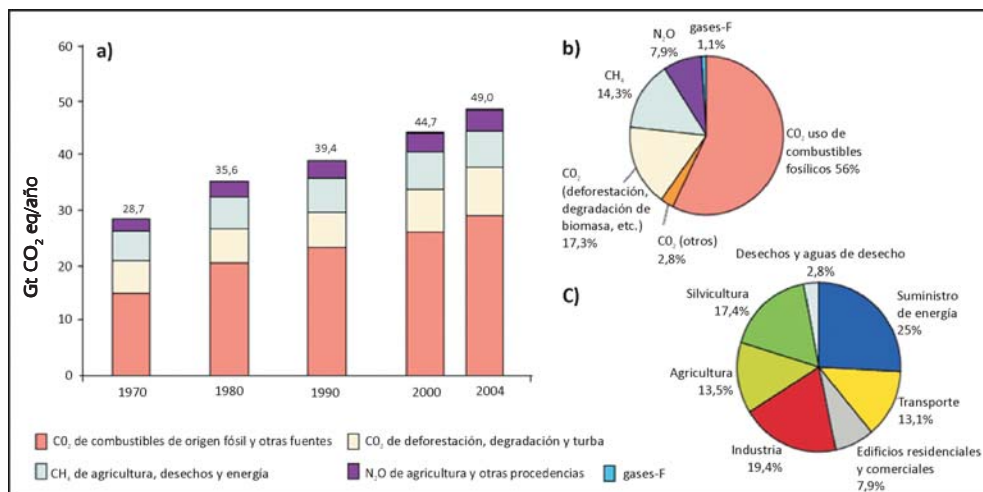
De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en 0,74°C [entre 0,56°C y 0,92°C] es superior a la tendencia correspondiente de 0,6°C [entre 0,4°C y 0,8°C] (1901-2000) indicada en el Tercer Informe de Evaluación (TIE). Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos.

Las cifras entre corchetes indican un intervalo de incertidumbres del 90% en torno a una estimación óptima; es decir, una probabilidad estimada de 5% de que su valor real supere el intervalo señalado entre corchetes, y una probabilidad de 5% de que dicho valor sea inferior. Los intervalos de incertidumbre no son necesariamente simétricos en torno a la estimación óptima correspondiente.

Fuente: IPCC, 2007.

En el contexto global, el total emitido en el año 2004 fue de 49 gigatoneladas (Gt) de CO₂ eq (ó 49.000 millones de toneladas), donde la emisión de CO₂ por el uso de combustibles fósiles alcanzó el 56,6%; seguido por la emisión de CO₂ por la deforestación y degradación de biomasa (17,3%), la emisión de metano (14,3%), óxido nitroso (7,9%), CO₂ de otras procedencias (2,8%) y gases con flúor (1,1%). La participación sectorial del total emitido se distribuyó de la siguiente forma: suministro de energía (25,9%), transporte (13,1%), edificios residenciales y comerciales (7,9%), industria (19,4%), agricultura (13,5%), silvicultura (17,4%) y manejo de desechos y aguas residuales (2,8%). En la Figura 2.5, se presentan las proporciones antes mencionadas de las emisiones para cada sector.

Figura 2.5 Emisiones mundiales de GEI antropógenos



Fuente: IPCC, 2007. Cuarto informe de evaluación. Síntesis del informe

2.3.5 Emisiones de Colombia frente al total mundial y regional

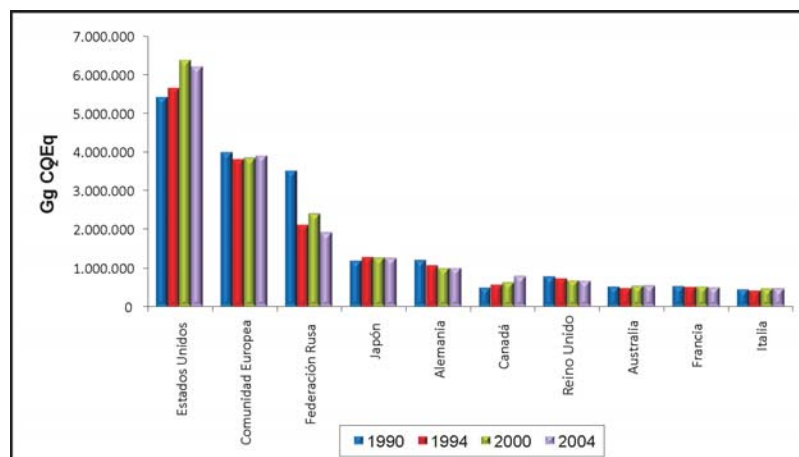
De acuerdo con el presente inventario estimado para el año 2004, Colombia aporta el 0,37% (0,18 gigatoneladas) del total emitido en el mundo (49 gigatoneladas).

Con base en los resultados de emisiones de gases de efecto invernadero, encontrados en la página WEB de la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), se tienen los datos por año de cada país, tanto para las partes del Anexo I, como países no partes del Anexo I.

La evolución por año (1990, 1994, 2000 y 2004) de las emisiones totales, en unidades de CO₂ equivalentes, de los principales países emisores del Anexo I, se muestra en la Figura 2.6. De dicha presentación se destacan los aportes significativos de los tres estados o naciones agregadas (Estados Unidos, Comunidad Europea y Federación Rusa). Asimismo, vale destacar la relativa estabilidad de la Comunidad Europea y el descenso de la Federación Rusa, respecto al año 1990.

La Figura 2.6 permite hacer una reflexión general del monto de emisiones colombianas (180.008,18Gg de CO₂ eq) frente a dichos países desarrollados.

Figura 2.6 Emisiones totales de CO₂ eq con USCUS de los principales países del Anexo I

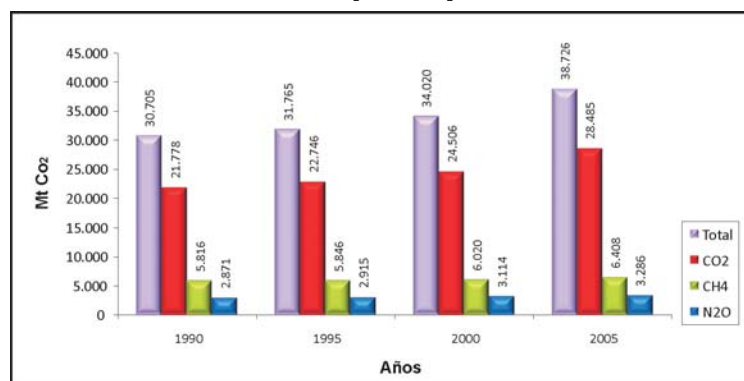


Fuente: Los autores, 2009. Con datos de la UNFCCC, 2009.

La participación de los principales gases de efecto invernadero (en CO₂ eq) a través de los años 1990, 1995, 2000 y 2005; de todo el globo (sin incluir el Uso del suelo, cambio del uso de suelo y silvicultura, USCUS), se muestra en la Figura 2.7.

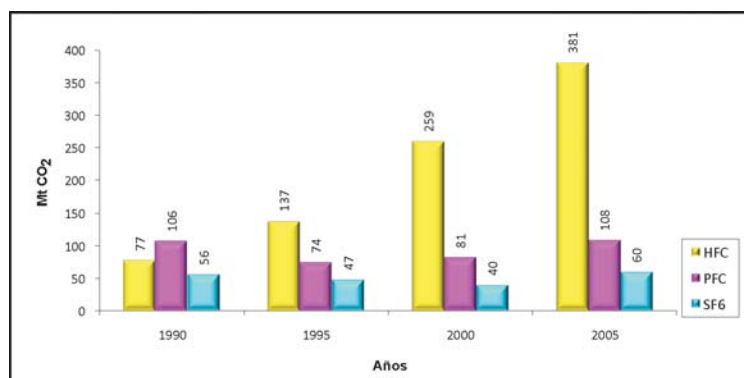
Del promedio de los datos compilados por el Instituto de los Recursos Naturales (WRI, 2009), se encuentra que la emisión de CO₂ (72%), domina ampliamente a los otros gases: metano (18%) óxido nitroso (9%). El 1% restante se compone de los gases perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆)⁶. Una visión de la participación de estos gases en unidades de CO₂ equivalentes, sin el USCUS, se puede ver en la Figura 2.8.

Figura 2.7 Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O global sin USCUS



Fuente: Los autores, 2009. Con datos de WRI, 2009.

Figura 2.8 Emisiones de PFC, HFC y SF₆ en el mundo



Fuente: Los autores, 2009. Con datos de WRI, 2009.

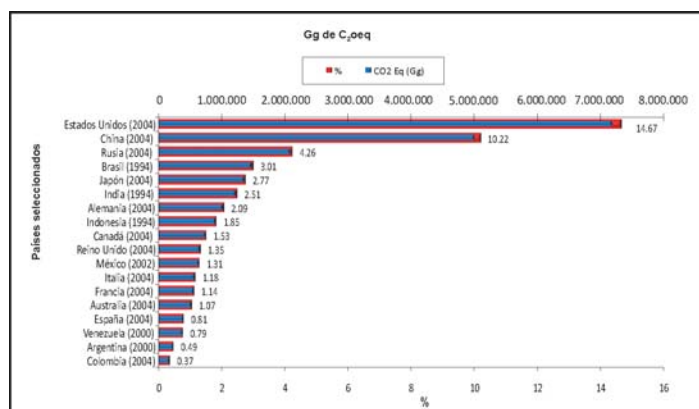
* El total de las emisiones de los gases HFC, PFC y SF₆ de la Figura 2.8 se encuentran contempladas en el total de las emisiones globales sin USCUS de la Figura 2.7.

En la Figura 2.8 se puede observar el incremento de las emisiones de CO₂ eq de los hidrofluorocarbonos (HFC) y el comportamiento relativamente estable de perfluorocarbonos (PFC) y del hexafluoruro de azufre (SF₆), gases que tienen un potencial de calentamiento mucho más elevado que los HFC, cuyo promedio es de alrededor de dos y siete veces mayor, respectivamente. Al comparar las cifras del total emitido por Colombia en el año 2004, y presentar las emisiones de algunos países, podemos resaltar los siguientes aspectos:

- La significativa diferencia de los principales países emisores de GEI, con respecto al resto de países.
- Entre los Estados Unidos y China, se encuentra el 25% de las emisiones totales del globo.

En la Figura 2.9 se presentan las emisiones totales de dióxido de carbono en unidades de CO₂ equivalentes de Colombia, donde se relacionan, además, algunos países que tienen una participación significativa dentro del contexto mundial.

Figura 2.9 Participación de Colombia con respecto con las emisiones mundiales de GEI



Fuente: Autor, 2009

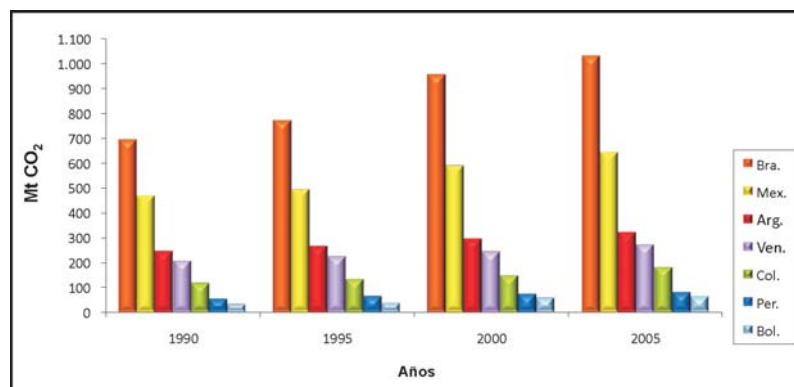
6 Cifras compiladas con base en la información de: WRI. (CAIT), versión 6. Washington: 2009.

2.3.6 Emisiones totales de Colombia frente a los reportes de otros países de América Latina

Teniendo en cuenta los valores de emisiones de GEI, acopiados tanto del Instituto de los Recursos Mundiales (WRI), a través de su herramienta para el análisis de los indicadores del clima (CAIT), versión 6, del año 2009, como la información compilada de la página de la Secretaría, se realizan las siguientes consideraciones.

En la Figura 2.10 se puede observar el comportamiento de las emisiones calculadas para los años 1990 a 2005 para algunos de los países más emisores de GEI de Latinoamérica: Brasil, México, Argentina, Venezuela, Colombia, Perú y Bolivia; ubicándose Colombia en la quinta posición dentro del periodo confrontado.

Figura 2.10 Principales países emisores de GEI en América Latina (sin USCUS). Años 1990 a 2005



Fuente: Los autores, 2009. Con base en WRI, 2009.

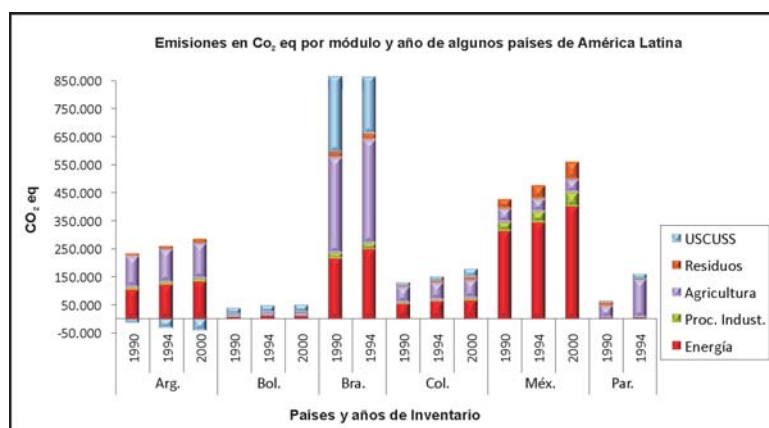
En la Figura 2.11 se muestra el comportamiento a través de los años (1990, 1994, 2000 y 2004) de las emisiones por módulo (sector) de algunos países de América Latina. En dicha figura se puede apreciar el peso significativo del Uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura en Brasil. Adicionalmente, se destacan las emisiones por el sector energético en México, las cuales muestran un valor e incremento por encima de Brasil y Argentina. En Colombia, si bien dista de las emisiones con respecto a los más emisores, es significativa la participación en los sectores energético y agrícola.

De la Figura 2.11 se destacan las cifras significativas de Brasil con respecto a los módulos de USCUS y agricultura en el contexto Latinoamericano. Por tal razón, para facilitar la lectura, además de la comparación con países similares en cuanto al comportamiento de las emisiones en el contexto de América Latina, se excluye a dicho país en las siguientes figuras.

En la Figura 2.12, se puede ver el comportamiento de las emisiones de algunos países de Latinoamérica a través de los años (1990 a 2000), donde se aprecia la tendencia al crecimiento de la mayoría de los países, con excepción de Uruguay.

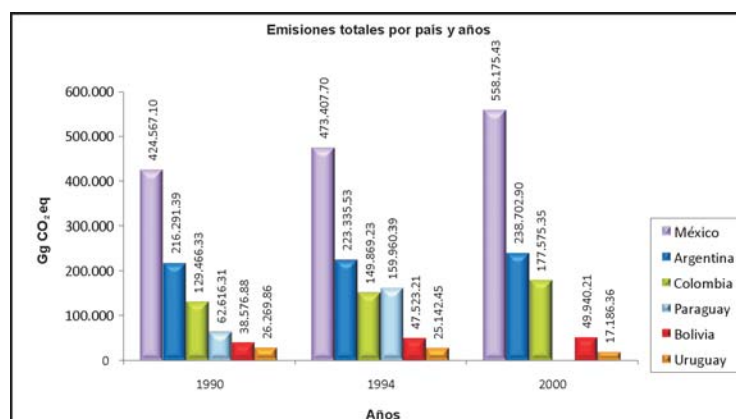
En la Figura 2.13, se destaca la ubicación de Colombia (5°) entre otros países de Latinoamérica, encontrándose una gran distancia con países como Brasil y México. Al respecto, es necesario destacar la relación directa entre emisiones de GEI y el Producto Interno Bruto expresado en la Paridad del Poder Adquisitivo (PPP por sus siglas en inglés), el cual se analiza más adelante, teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ eq per cápita.

Figura 2.11 Comportamiento de las emisiones por módulo y años de algunos países de Latinoamérica



Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009⁷.

Figura 2.12 Emisiones totales / año de GEI de algunos países de América Latina (con USCUS).

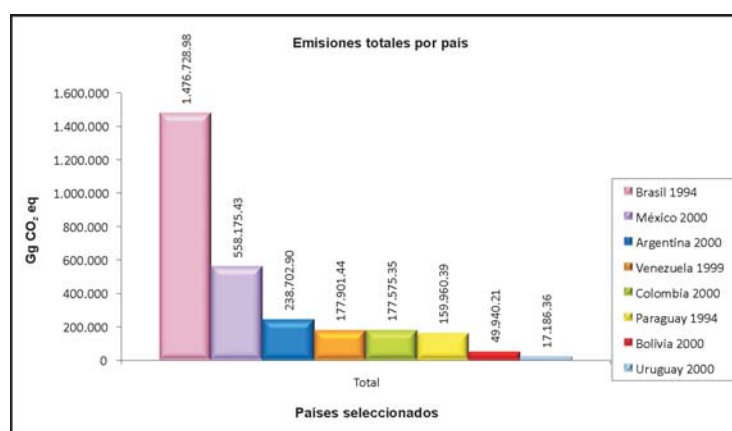


Fuente: Los autores con información compilada de UNFCCC, 2009 .

Al ampliar el número de países de Latinoamérica y observar la participación de GEI, respecto al total en unidades de CO₂ equivalentes y emisiones per cápita, se puede ver en la Figura 2.14 la ubicación de algunos países de América Latina frente al conjunto mundial, según las cifras del WRI, 2009.

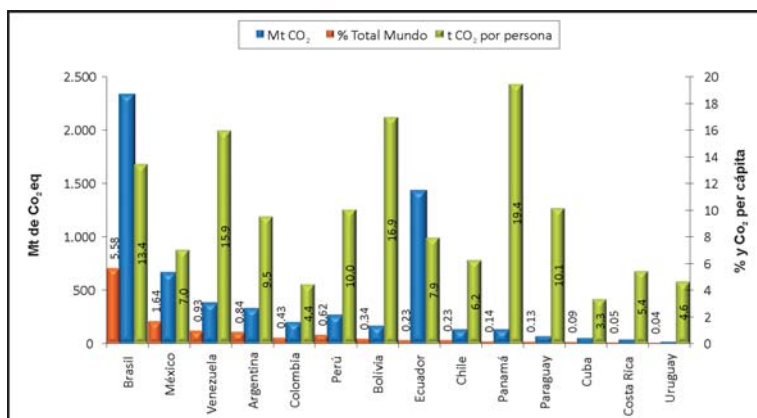
De esa manera, con respecto al año 2000, Colombia, una vez realizados los ajustes en las cifras de emisiones (concordantes con el presente documento), con un 4,41 t CO₂ eq/persona estaría cerca de la posición de otros países como Uruguay (4,6 t CO₂ eq/persona) y Costa Rica (5,4 t CO₂ eq/persona); pero distante de Paraguay (10,1 t CO₂ eq/persona), Panamá (19,4 t CO₂ eq/persona), Bolivia (16,9 t CO₂ eq/persona), Brasil (13,4 t CO₂ eq/persona), Ecuador (7,9 t CO₂ eq/persona), México (7,0 t CO₂ eq/persona), por ejemplo.

Figura 2.13 Emisiones totales de GEI de algunos países de América Latina (con USCUS)



Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009.

Figura 2.14 Participación de Colombia comparado con las emisiones totales mundiales y per cápita de países de Latinoamérica



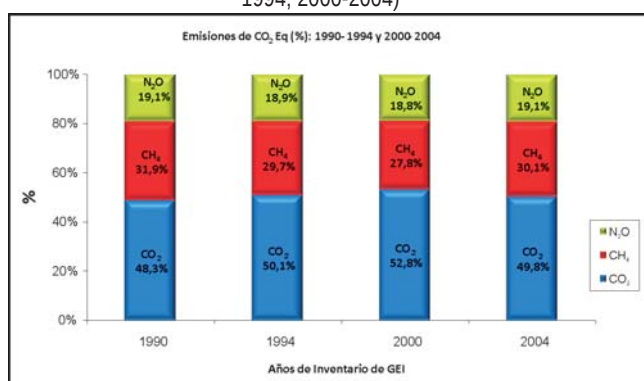
Fuente: Los autores, 2009. Con datos de WRI, 2009.

2.3.7 Gases más representativos en el país y totales emitidos por año

Con referencia al peso o representatividad del aporte de cada uno de los gases de efecto invernadero (GEI), alrededor del 99% de las emisiones colombianas, en unidades de CO₂ equivalentes, se componen del dióxido de carbono (50%), metano (30%) y óxido nitroso (19%); quedando el 1% para el resto de gases que causan efecto de invernadero y que no están dentro del Protocolo de Montreal (halocarbonos y hexafluoruro de azufre). En la Figura 2.15 se puede apreciar la distribución porcentual para los cuatro años del inventario de GEI. Luego, en la Figura 2.16, se presenta el detalle de todos los gases y su participación en el año 2004.

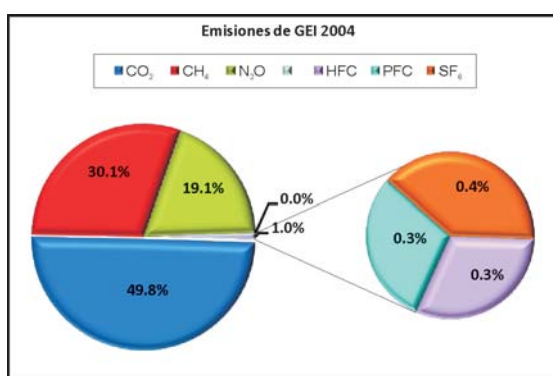
Con base en los inventarios adelantados por el país para los años 1990 (129.466 Gg de CO₂ eq), 1994 (149.869 Gg de CO₂ eq), 2000 (177.575 Gg de CO₂ eq) y 2004 (180.008 Gg de CO₂ eq), si bien se aprecia un aumento en valores absolutos en las emisiones, es preciso mencionar que la tasa de variación anual viene descendiendo, con valores que van del orden del 3,94% para el primer lapso (1990 a 1994); y 2,79% para el intervalo 2000 a 2004.

Figura 2.15 Participación de los principales GEI en Colombia (1990-1994; 2000-2004)



Fuente: Los autores, 2009

Figura 2.16 Participación de los GEI en Colombia. Año 2004

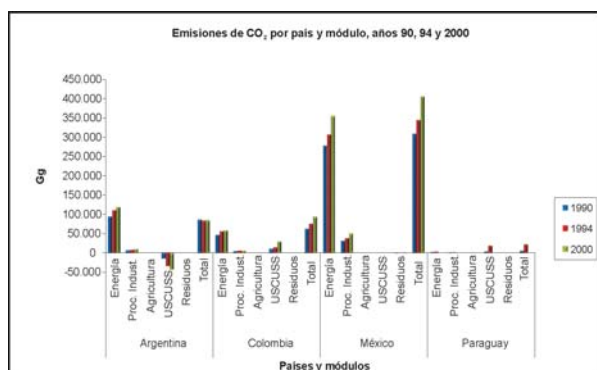


Fuente: Los autores, 2009

Si se comparan las anteriores figuras con las presentadas para el contexto mundial, se puede advertir cómo la composición de las emisiones colombianas de CO₂ son menores que las de los países más desarrollados (alrededor del 22%), y presentamos valores promedio mayores en metano (12%) y en el óxido nitroso (10%). Tal composición se explica, en parte, por el uso de combustibles fósiles en los países más desarrollados, contrario a lo que ocurre con los países con mayor dependencia del sector agropecuario, donde el metano y el óxido nitroso tienen un mayor peso porcentual.

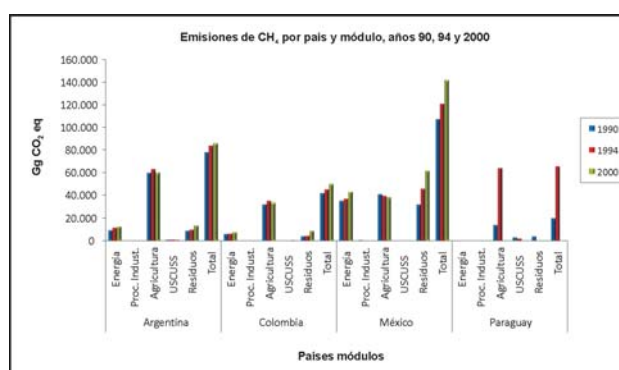
Adicionalmente, al realizar la confrontación de las emisiones de Colombia por tipo de gas para los años 1990, 1994 y 2000, frente a otros países de Latinoamérica, podemos resaltar lo siguiente, con base en las figuras 2.17 a 2.19: El relativo distanciamiento en las emisiones de CO₂ de Colombia con respecto a países con mayor desarrollo industrial, como México, el cual se ve representado con mayor peso en el sector energético, se debe a que Colombia tiene una matriz energética que se fundamenta en hidroenergía (alrededor del 78%).

Figura 2.17 Emisiones de CO₂ en cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica



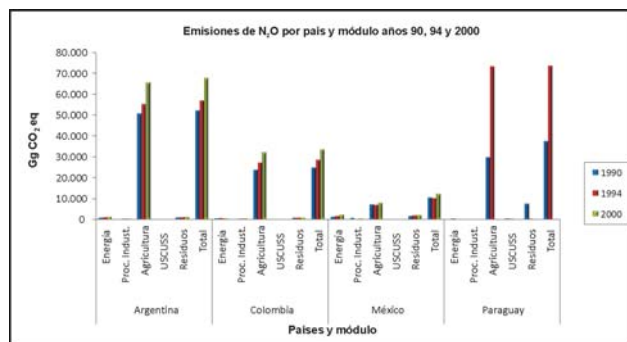
Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009.

Figura 2.18 Emisiones de CH₄ en CO₂ eq de cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica



Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009.

Figura 2.19 Emisiones de N_2O en CO_2 eq de cada módulo (sector) de algunos países de Latinoamérica



Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009.

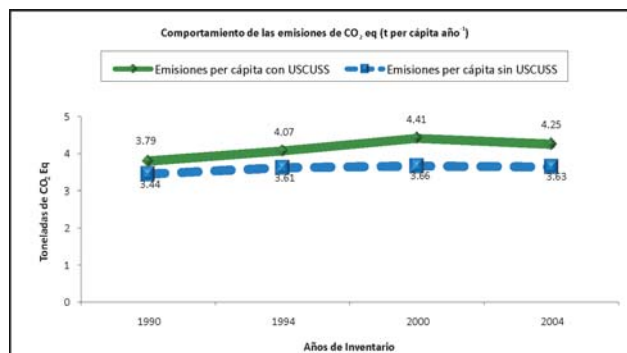
Con respecto a las emisiones de CH_4 , se puede observar una relativa estabilidad en los resultados obtenidos de los inventarios de los años 1990, 1994 y 2000, en países como Argentina, Colombia y México. Véase la Figura 2.18.

Al comparar las emisiones de N_2O , se encuentra un comportamiento similar en el incremento registrado en el sector agrícola para los inventarios de 1990, 1994 y 2000, para Argentina y Colombia; mientras Paraguay muestra un incremento de más del doble en dicho sector. Véase la Figura 2.19.

Al comparar la distribución porcentual de los tres gases principales (N_2O , CH_4 y CO_2) con los datos compilados por la UNFCCC para algunos países de Latinoamérica, encontramos una mayor proporción en los aportes de CH_4 y N_2O en los países donde se desarrollan más las actividades agropecuarias, como Argentina, Paraguay y Colombia.

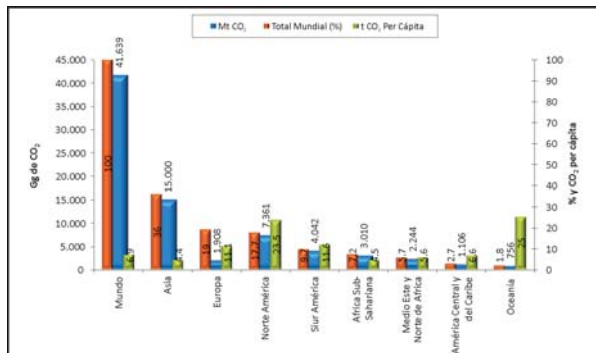
El desempeño colombiano de las emisiones per cápita ($t CO_2$ eq per cápita año⁻¹) sin el Módulo de Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (USCUISS) para los años 1990 (3,44), 1994 (3,61), 2000 (3,66) y 2004 (3,63 $t CO_2$ eq per cápita año⁻¹) se expone en la Figura 2.20. Después de esta gráfica se muestran los datos compilados por regiones mundiales, sin contabilizar el Módulo del uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura. Al comparar las cifras de Colombia en el año 2000 (3,66 $t CO_2$ eq/persona) con los reportes de las diferentes regiones del mundo, podemos ubicar las emisiones de Colombia (per cápita) por debajo del valor medio mundial, y muy distante de los valores registrados por el WRI en el año 2000 para Europa, Asia y Norteamérica. Véase la Figura 2.21.

Figura 2.20 Emisiones per cápita de GEI en Colombia en CO_2 eq



Fuente: Los autores, 2009.

Figura 2.21 Emisiones per cápita de GEI en regiones



Fuente: Los autores, 2009. Con datos del WRI. Climate Analysis Indicator Tool (CAIT). Versión 6. Washington, 2009

Con el fin de comparar las emisiones per cápita de Colombia con respecto al producto interno bruto (PIB), se utilizó el indicador económico basado en la paridad del poder adquisitivo (PPP por sus siglas en inglés)⁸.

Si bien tanto el producto interno bruto (PIB) per cápita (en USD de paridad de poder adquisitivo, PPP), como el PIB total en PPP de Colombia muestran un incremento anual (según los años de inventario), las emisiones de CO_2 eq por dólar de PIB en PPP, registran una disminución entre los años de inventario (-2,97% entre 1990 y 1994), siendo especialmente significativa para el periodo 2000 a 2004 (-4,40%). Véanse las Figuras 2.22 y 2.23. Tal comportamiento se puede explicar por el mayor aumento relativo registrado del PIB en el último periodo, frente a la reducción en la variación porcentual negativa (-0,9%) de las emisiones per cápita entre los años 2000 y 2004.

En otras palabras, desde 1990, Colombia viene emitiendo menos emisiones por cada dólar del PIB per cápita (en paridad de poder adquisitivo, PPP); es decir, que se emitieron menos gases de efecto invernadero por persona en el último periodo (2000 a 2004) por cada dólar del PIB del país (en paridad de poder adquisitivo, PPP).

⁸ La paridad del poder adquisitivo (PPA) o *purchasing power parity* (PPP) es un indicador económico que compara de una manera realista el nivel de vida entre distintos países, tomando como referencia el Producto Interno Bruto per cápita en términos del costo de vida de cada país, con respecto a una canasta de precios de los Estados Unidos. Por esta razón permite realizar comparaciones de las emisiones de GEI per cápita, en términos de CO_2 equivalente entre los diferentes países. Adaptado de Taylor, A. & Taylor, M. Working paper 10607, y de Index mundi.com.

Figura 2.22 PIB per cápita y PIB Total en PPP⁹ (USD)

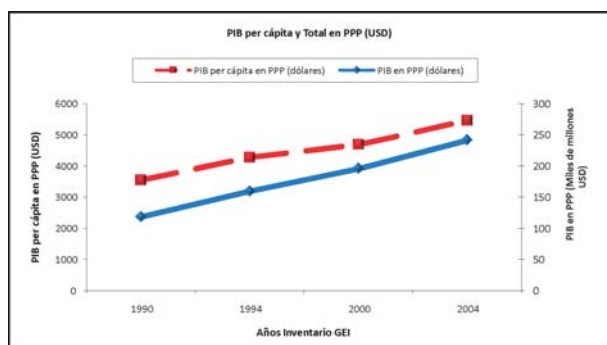
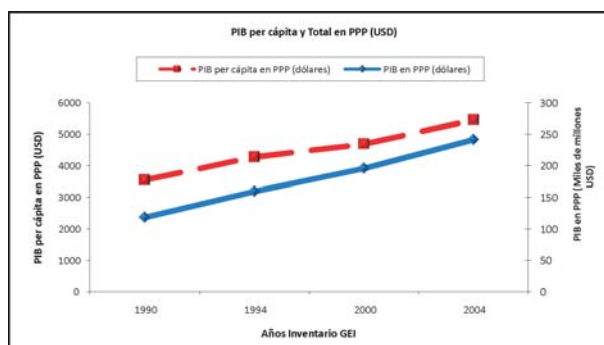


Figura 2.23 Emisiones per cápita y kg de CO₂ eq / USD del PIB



Fuente: PIB año 1990, Banco de la República. Grupo de estudios de crecimiento económico colombiano. El desempeño macroeconómico colombiano. Series estadísticas (1905 - 1997). Emisiones obtenidas del INGEI, IDEAM, 2008.

Por otra parte, según el Instituto de los Recursos Mundiales (WRI, versión 5, 2008), las emisiones totales per cápita de gases efecto invernadero en América Latina y el Caribe fueron 9,9 toneladas de CO₂ equivalentes (año 2000) per cápita, incluyendo el cambio del uso de la tierra, mientras el promedio mundial llegó a 7,2 t CO₂ eq. Al tomar estas cifras de emisión por persona año como referencia, significa que Colombia (4,40 t CO₂ eq/persona) emite un 41% menos con respecto a las cifras mundiales y un 57% más bajo que el promedio latinoamericano. Véase la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Comparación de emisiones GEI, años 1990 y 2000; Mundial - América Latina y el Caribe - Colombia

Emisiones anuales de GEI		1990			2000		
		Mundo	América Latina y el Caribe	Colombia	Mundo	América Latina y el Caribe	Colombia
Emisiones sin cambio de uso del suelo	Total de Mt CO ₂ Eq	33 295,60	2 152,10	117,39	35 865,20	2 766,90	147,34
	Porcentaje del Total mundial	100,00%	6,46%	0,35%	100,00%	7,71%	0,41%
	t CO ₂ eq per cápita	6,30	4,90	3,40	5,90	5,40	3,66
Emisiones con cambio de uso el suelo	Total de MtCO ₂ Eq	41 213,70	5 511,70	129,46	43 483,90	5 124,10	177,58
	Porcentaje del Total mundial	100,00%	13,37%	0,31%	100,00%	11,78%	0,41%
	t CO ₂ eq per cápita	7,80	12,60	3,80	7,20	9,90	4,40

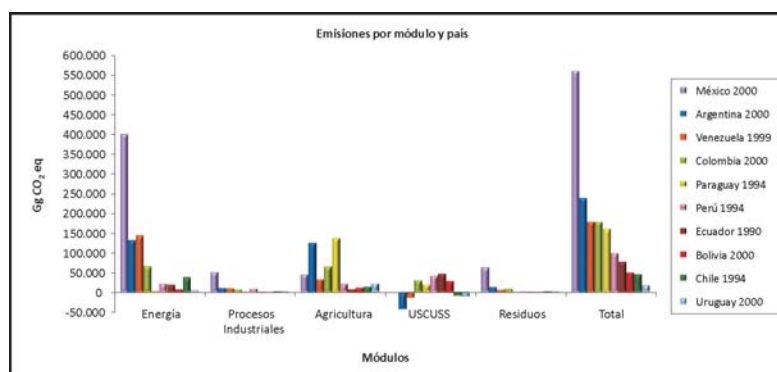
Fuente: Los autores, 2009. Con datos de WRI, 2008. Completada en el campo correspondiente de Colombia.

En el conglomerado de Suramérica se debe tener en cuenta el peso significativo que involucra el aporte de Brasil, en cuanto al Módulo del Uso del suelo, cambio del uso del suelo y silvicultura, dada la dinámica existente en las extensas áreas de bosques que posee este país. Véase la Tabla 2.4, que compara las emisiones de gases efecto invernadero, años 1990 y 2000, donde se muestran las emisiones del mundo, América Latina y el Caribe, y Colombia. La Figura 2.21 es otra imagen que permite la comparación.

A continuación se realiza una síntesis por módulo, de los resultados obtenidos en la estimación del inventario de GEI de Colombia para los años 2000 y 2004.

La comparación de las emisiones de Colombia en el año 2000, con las emisiones de otros países de Latinoamérica entre los diferentes módulos se puede observar en la figura 2.24.

Figura 2.24 Participación de las emisiones de CO₂ eq de cada módulo para algunos países de Latinoamérica



Fuente: Los autores, con información compilada de UNFCCC, 2009.

De la Figura 2.24 se resalta la preponderancia de México, seguido por Venezuela y Argentina, en las emisiones de CO₂ eq, derivadas del sector energético. Las emisiones de Colombia en el contexto Latinoamericano para el año 2000, sobresalen en el sector agrícola, no obstante por debajo de las registradas por Paraguay (1994) y Argentina (2000); Brasil no se incluyó debido a su significativo aporte de emisiones. Como se observa, México presenta emisiones muy por encima del resto de países latinoamericanos. Se encuentra un segundo grupo liderado por Argentina dentro del cual se aprecia una estrecha diferencia entre Colombia (2000) y Venezuela (1999), seguidos por Paraguay (1994). Por último, se observa un tercer grupo con menores emisiones, como son: Perú (1994), Ecuador (1990), Bolivia (2000) y Chile (1994).

A continuación se presentan los resultados y conclusiones para cada uno de los módulos.

2.3.8 Módulo de energía

En el Módulo de energía se agrupan las actividades humanas que utilizan materias primas, principalmente combustibles fósiles para la producción y uso de energía, en el cual están las categorías denominadas quema de combustibles fósiles, emisiones fugitivas y quema de biomasa.

2.3.8.1 Información disponible

Con respecto a la disponibilidad de información para el cálculo de las emisiones de GEI en el Módulo de energía se destaca lo siguiente:

Se dispuso de la información necesaria para estimar las emisiones por quema de combustibles mediante las metodologías del nivel 1, que suministra el IPCC. Esta información se revisó y ajustó a los requerimientos del cálculo, con el fin de disminuir la incertidumbre por efectos de interpretación de definiciones.

Para las metodologías de nivel 1, la fuente principal de información son los Balances Energéticos Nacionales (BEN), suministrados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Otra fuente importante de información es la Empresa Colombiana de Petróleos - Ecopetrol S.A., en cuanto a las características de los combustibles, la venta de estos para la aviación internacional y la producción en refinerías de los derivados de petróleo, para el cálculo del carbono almacenado.

Para la estimación de GEI por emisiones fugitivas, la fuente principal de información es la suministrada por Ingeominas, Ecopetrol S.A. y la UPME, en producción de carbón mineral, refinación del petróleo y centros de tratamiento de gas natural.

Para realizar el cálculo mediante las metodologías detalladas (nivel 2), se requiere información más precisa sobre el uso de combustibles y tecnologías de combustión, y de control de emisiones en el sector industrial y de transporte. Para el presente inventario no fue posible estimar emisiones para el Módulo de energía por metodologías de nivel 2. Para ello, se requiere precisar y concretar con las instituciones¹⁰ que por función han venido recopilando esta información, referente al ajuste del proceso de la captura, incluyendo la exhaustividad, para lograr obtener la información con el nivel de detalle necesario para aplicar las metodologías de nivel 2.

2.3.8.2 Metodología

En el Módulo de energía se evaluaron las metodologías, además de realizar un ejercicio de revisión de la congruencia de las denominaciones de los combustibles propuestos por el IPCC, con las denominaciones nacionales, para homologarlas de acuerdo con los nombres comerciales usados en el país. Dicho ejercicio incluyó la identificación de los combustibles que no son usados en Colombia.

Las estimaciones de emisiones del módulo se efectuaron por dos metodologías del nivel 1 propuestas: método de referencia y método de categoría de fuente. Por lo tanto, con el fin de obtener resultados de emisiones por tipo de combustible, se usó el método de referencia; y por sectores productivos se aplicó el método de categoría de fuente.

Al realizar la comparación de las dos metodologías, el resultado obtenido para el año 2000 por el método de referencia, difiere en 2,7%, con respecto al obtenido por el método por categoría de fuente; para el año 2004, la diferencia es de 2,5%. Estas diferencias se explican, principalmente, porque la suma del consumo final sectorial de combustibles no es exactamente igual al consumo aparente nacional, además, esta última cifra involucra el combustible

10 El Sistema de Información sobre Uso de Recursos -SIUR-, del Ideam, el Registro Único Nacional de Tránsito, Runt, del Ministerio de Transporte y la Encuesta Anual Manufacturera, EAM del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE.

no aprovechado, pérdidas y datos de ajuste del balance entre la oferta y la demanda. No obstante, se puede reconocer que la diferencia en los resultados no es significativa y que las dos metodologías pueden ser aplicadas en el país, dado que se cuenta con la información necesaria. En el consolidado nacional, se reportan únicamente las emisiones calculadas por el método por categoría de fuente, de acuerdo con las tablas de reporte de emisiones definidas por el IPCC, 1996.

2.3.8.3 Resultados

Con base en los resultados obtenidos para los diferentes años de inventario (1990, 1994, 2000 y 2004), se elaboró la Figura 2.25, donde se puede apreciar el comportamiento en conjunto y por categoría de dicho módulo o sector, con respecto al total de las emisiones obtenidas del inventario de GEI. Se destaca lo siguiente:

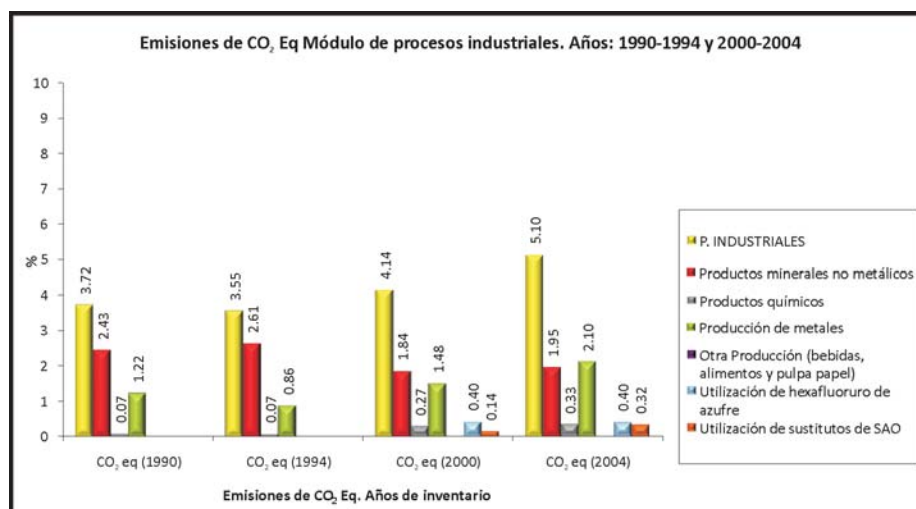
La reducción proporcional del aporte del sector de la energía, con respecto a los demás sectores o módulos en los años 1990 y 1994 (41%), y frente a los dos últimos años de inventario (37% del total nacional), está representada principalmente en la quema de combustibles fósiles (Ver las tablas 2.2 y 2.3). Tal disminución se define de manera proporcional de cara a los demás sectores dado que, en términos absolutos, se ha venido presentando un incremento en las emisiones: 466 Gg de CO₂ eq entre los dos últimos años de inventarios (2000 y 2004), y de 8.852 Gg de CO₂ eq en el periodo del año 1990 al 1994; periodo para el cual se evidenció una tasa anual mayor (2.213 Gg/año), que para los dos años más recientes de inventario (117 Gg/año entre los años 2000 y 2004).

Dentro de la quema de combustibles fósiles se tienen en el 2004 (31,2% del total anual¹¹), los aportes derivados del transporte con 21.769 Gg CO₂ eq, (aviación nacional, automotor, ferroviario y navegación nacional); las industrias de generación y transformación de la energía con 15.281 Gg CO₂ eq, (centrales térmicas y otros centros de transformación); las industrias manufactureras y de la construcción con 13.098 Gg CO₂ eq; otros sectores 6.062 Gg CO₂ eq, (comercial e institucional; residencial; y agricultura, pesca y forestal), que representan en el mismo orden: 12,1%; 8,5%; 7,3% y 3,4% con respecto al total de emisiones en el año 2004. Las emisiones fugitivas alcanzaron en dicho año 9.153 Gg CO₂ eq (5,1%), derivadas de la minería del carbón (4.617 Gg CO₂ eq) y de la industria del petróleo y gas natural (4.536 Gg CO₂ eq).

En valores totales de las emisiones en unidades de CO₂ equivalentes, en el Módulo de energía se registró un incremento de 13.033 Gg; en el lapso de los años 1990 (52.940 Gg) a 2004 (65.973 Gg) encontramos una variación del 24,6%, que corresponden a un incremento anual de 1,76%. A pesar de presentarse dicho aumento en las emisiones totales, la distribución porcentual del Módulo de energía con respecto al total de las emisiones totales se ha venido reduciendo a través de dichos años de inventario.

El comportamiento de los valores totales de las emisiones se puede encontrar en la Figura 2.2 y la variación porcentual se puede observar en la Figura 2.25.

Figura 2.25 Comparación porcentual por años de emisiones totales en CO₂ eq categorías Módulo de energía



Fuente: Los autores, 2009

La distribución porcentual dentro del Módulo de energía para las diferentes categorías se ha mantenido relativamente estable en los cuatro años en que se realizó el cálculo del inventario.

2.3.9 Módulo de procesos industriales

2.3.9.1 Información disponible

Para obtener las emisiones de los GEI para este módulo con la metodología de nivel 1, se requiere información del total de la producción nacional en toneladas o kilogramos de los productos pertinentes al módulo, para lo cual se emplea un factor de emisión proporcionado por el IPCC.

La metodología de nivel 2 requiere, además de la información de la producción total nacional de los productos industriales pertenecientes al módulo, la información de la caracterización de esta producción, relacionada con: fracciones, porcentaje de pureza, relaciones estequiométricas de las materias primas, las tecnologías de producción y sistemas de control de emisiones, para establecer promedios nacionales que determinan mejores factores de emisión para aplicar a cada proceso, según sea posible. Si bien este nivel de cálculo mejora la incertidumbre, requiere una amplia consulta sectorial y de expertos.

Para el cálculo de las emisiones de clinker y cemento, cal, uso de sustitutos de SAO y ácido nítrico se utilizó la metodología del nivel 2, para los demás se utilizó el método de nivel 1.

2.3.9.2 Metodología

El Módulo de procesos industriales tiene dos niveles de detalle para el cálculo. En el nivel 1, simple o único, se multiplica la producción total nacional (en toneladas o kilogramos) de los productos pertinentes al módulo para el año del inventario, con un único factor de emisión proporcionado por el IPCC, para obtener las emisiones de los GEI.

En la determinación de las variables involucradas en cada proceso, se realizó un levantamiento de información secundaria, además de la revisión y análisis de la información existente e identificación de las principales fuentes de información institucional.

La evaluación de cada proceso industrial dentro del módulo tuvo en cuenta los siguientes criterios: participación en las emisiones del inventario, importancia en la economía nacional, efectividad en la consecución de información e innovación en el inventario. Esta evaluación estableció que los procesos con mayor prioridad para el presente inventario, coinciden con los de mayor aporte en emisiones del inventario adelantado para los años 1990 y 1994, es decir, las producciones de clinker, cal, hierro y acero, amoníaco, ácido nítrico; y las categorías nuevas: utilización de hexafluoruro de azufre y SAO.

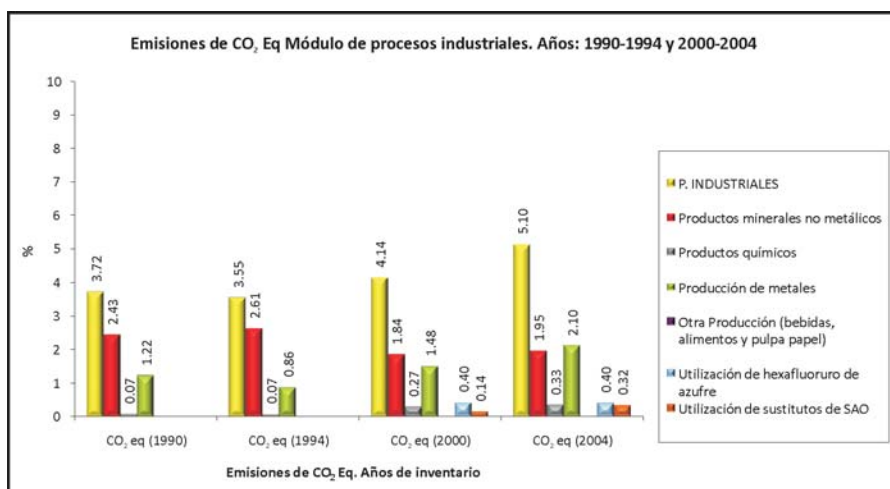
2.3.9.3 Resultados

De la Tabla 2.3 se puede advertir que el Módulo de procesos industriales participa con el 5,1% (9.180 Gg CO₂ eq) sobre el total de emisiones en el año 2004 (180.008 Gg CO₂ eq).

El aporte del módulo indica un incremento en el total de emisiones (4.810 Gg CO₂ eq en 1990 a 9.180 Gg CO₂ eq en 2004), lo cual se ve reflejado con respecto a los demás sectores, al incrementarse su representación del 3,7% en el año 1990, al 5,1% en el año 2004; debido en parte a la mayor cantidad de actividades contabilizadas en este inventario, especialmente las relacionadas con los fluorocarbonos y hexafluoruro de azufre. Las categorías que más aportan dentro del Módulo de procesos industriales en el año 2004, son la producción de metales (2,1% sobre el total de GEI) y producción de minerales no metálicos (2,0%). El resto está distribuido en la utilización de hexafluoruro de azufre (0,40%); utilización de sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono y productos químicos con similar aporte cada uno (0,3%).

Las emisiones de GEI en unidades de CO₂ eq derivadas de la producción de minerales no metálicos muestran un comportamiento oscilante (3.142; 3.918; 3.263 y 3.505) a través de los años de inventario (1990, 1994, 2000 y 2004); mientras las emisiones provenientes de la producción de metales presentó una tendencia al alza, principalmente en los años 2000 y 2004 (1.575; 1.294; 2.634 y 3.782 Gg de CO₂ eq). En la Figura 2.26 se pueden ver proporciones dentro de cada año de inventario de las categorías del Módulo de procesos industriales.

Figura 2.26 Comparación (%) por años de emisiones totales en CO₂ eq categorías Módulo de procesos industriales



Fuente: Los autores, 2009

Con respecto a la variación de las cifras dentro del mismo Módulo de procesos industriales, si bien se registra un incremento significativo en el lapso de 1990 a 2004; tal cifra equivale a tan solo 2,8% con respecto al total nacional de emisiones, debido a la baja participación del módulo frente a dicho total.

El incremento registrado se debe principalmente a que el inventario de GEI para Colombia de los años 1990 y 1994, estimó las emisiones de 31 actividades productivas, mientras en el presente inventario (2000 y 2004) se reportan las emisiones de 47 actividades productivas. Bajo esta condición relativa, la comparación de los resultados debe tenerse como una aproximación o condición indicativa.

En términos de CO₂ equivalente, las emisiones totales del Módulo de procesos industriales muestran una tendencia creciente para el periodo 1990-2004. Además, no se debe perder de vista que para el inventario 2000 y 2004, se incluyeron otros gases de efecto invernadero, como son los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Tales incrementos pueden ser explicados, en parte, por la inclusión en el cálculo de las emisiones de procesos como usos de carbonato de sodio, producción de aluminio y producción de aleaciones ferrosas, no tomados en consideración en el primer inventario. También, se debe apreciar que para el inventario del 2004, la categoría de fuente más representativa fue la producción de aleaciones ferrosas, con un porcentaje de participación de CO₂ del 12,26%. Al respecto, es pertinente tener en cuenta que las emisiones de GEI están asociadas con la recuperación económica que mostró el país a partir del año 2002.

2.3.10 Módulo de agricultura

2.3.10.1 Información disponible

La disponibilidad de información permitió la aplicación de la metodología de nivel 2, propuesta por el IPCC para la estimación de emisiones de metano CH₄, procedente de la fermentación entérica y manejo de estiércol para la categoría de ganado vacuno no lechero. Para este nivel 2, se utilizaron factores de emisión domésticos que reflejan las diferencias internas en términos de condiciones ambientales y productivas de un contexto nacional, razones por las cuales se disminuye la incertidumbre del inventario.

Para las demás categorías fuentes del módulo, por la carencia de información en las condiciones requeridas, fue necesario realizar la estimación mediante las metodologías de nivel 1.

La quema de sabanas, si bien no constituye una fuente principal de emisiones, es la categoría con mayor incertidumbre del módulo, en razón al poco conocimiento de la dinámica de los ecosistemas de sabanas en Colombia. Por lo tanto, los resultados presentados son una aproximación a las emisiones específicas generadas en esta categoría, que deben afinarse una vez se disponga de información con más detalle, bien sea procedente de investigaciones de base o del procesamiento de la captura de los registros regionales.

Ante la escasa disponibilidad de datos para la estimación de la quema de residuos agrícolas, se requiere aunar esfuerzos para mejorar la investigación de la ocurrencia e intensidad de esta actividad a nivel nacional. Dicha gestión deberá permitir establecer valores para desperdicios a partir de la relación residuos/producción, incluyendo los datos de fracción de materia seca, fracción quemada en campo y oxidada para los principales cultivos reportados por la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Los cultivos de mayor interés son: arroz, maíz, trigo, sorgo, caña panelera y caña de azúcar, según la cantidad de residuos que son susceptibles de la quema en campo y las directrices del IPCC.

Es necesario incentivar la generación de información más detallada y exacta para cada una de las categorías del módulo por parte de las instituciones y gremios del sector agropecuario. Tal ejercicio coadyuva a lograr una caracterización más precisa, la cual es necesaria para mejorar la certidumbre en los resultados de las emisiones.

2.3.10.2 Metodología

Con el objeto de superar las barreras e incertidumbres asociadas con el primer inventario del módulo (IDEAM, 2001), se adelantaron los procesos técnicos y gestiones necesarias para recopilar información que permitiera en la medida de las posibilidades, estimar las emisiones mediante la metodología del nivel 2.

Al respecto, las metodologías para la estimación de emisiones de CH_4 derivadas de la fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado se pueden desarrollar bajo dos niveles (niveles 1 y 2). Es decir, el nivel 2 utiliza factores de emisión domésticos que reflejan las diferencias en términos de condiciones ambientales y productivas de un contexto nacional en particular. Adicionalmente, dependiendo de la categoría que sea representativa como fuente de emisión en el país, se recomienda utilizar el nivel 2 para disminuir la incertidumbre del inventario, siendo este nivel el más exigente en cuanto a datos locales sobre el manejo técnico de una población de ganado.

Si bien en este inventario se hizo la estimación de emisiones de CH_4 por fermentación entérica y manejo de estiércol, utilizando la metodología de nivel 1, con tales condicionantes, los resultados permitieron establecer que es una categoría fuente que representa más del 50% del total de las emisiones de metano, las cuales, por su representatividad y por recomendaciones de la metodología del IPCC, se calcularon con la metodología de nivel 2. Esta metodología (nivel 2) se aplicó únicamente para poblaciones de ganado vacuno, teniendo en cuenta que exige una caracterización más detallada de la población, además de requerir variables como el promedio de alimento consumido por cada una de las subcategorías de ganado vacuno, tales, como vacas, toros y terneros. Fue así como a partir de una caracterización regional se determinó un factor de emisión nacional.

La estimación del CH_4 emitido por manejo de estiércol requirió parte de la información recopilada en la categoría fermentación entérica, en este caso, de la población anual para cada subcategoría de ganado vacuno, distribución por climas y sistema de producción, además, fue necesario tener información específica en cuanto al sistema de manejo de estiércol, relacionado con: a) masa de sólidos volátiles excretados por animal (Vs kg); b) capacidad máxima de producción de metano en el estiércol ($\text{Bo m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Vs}$) y c) factor de conversión del metano, definido por el sistema de manejo y clima.

Al comparar los resultados obtenidos con la metodología de nivel 1, contra el nivel 2, se encontró un aumento del 16,17% y del 21,59%, para los años 2000 y 2004, respectivamente¹². Se debe tener en cuenta que el uso de factores de emisión nacionales calculados por el nivel 2, refleja la intensidad y características de la producción pecuaria nacional, además de presentar una disminución significativa en la incertidumbre, alrededor del $\pm 20\%$; según el IPCC (2006).

En el caso de otras categorías fuente como cultivos de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas y quema de residuos, la información disponible no permitió el mismo desarrollo metodológico (nivel 2), por lo cual se emplearon factores de emisión por omisión o defecto dados en las guías del IPCC. A pesar de lo anterior, se mejoró la información de base necesaria para el inventario en lo relacionado con su calidad y cobertura.

2.3.10.3 Resultados

El Módulo de agricultura (38,1%), junto con el Módulo de energía (36,6%), realizan aportes similares y significativos en términos de emisiones de CO_2 eq. Las categorías que más aportan emisiones en el Módulo de agricultura, con respecto al total emitido en el año 2004, son la fermentación entérica¹³ (18,5% del total) y suelos agrícolas (18,1%), con cifras del orden de los 33.258 Gg de CO_2 eq y 32.593 Gg CO_2 eq, respectivamente.

Estudios adelantados por la FAO (2009), indican que el sector ganadero, en el contexto mundial, es responsable del 18% de las emisiones de GEI, un porcentaje mayor que el correspondiente a los medios de transporte. Los autores

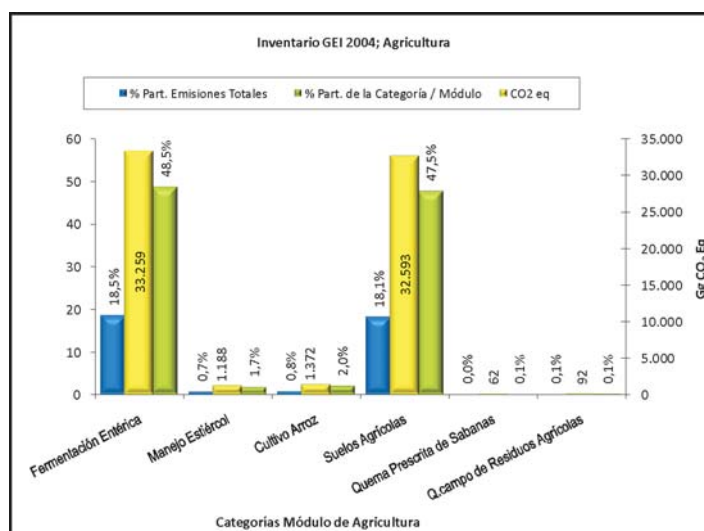
¹² Se resalta que los resultados obtenidos son coherentes con las conclusiones de la CMNUCC, 2007, que expone que al aplicar factores de emisión específicos para un país (nivel 2), los resultados pueden cambiar entre 20 y 30%, frente a los obtenidos mediante el nivel 1. La importancia de los resultados presentados y el grado de avance en relación con el primer inventario de GEI (Ideam, 2001), de acuerdo con el IPCC, 2000, se relaciona con una mayor incertidumbre al usar el nivel 1, la cual está alrededor del ± 30 al $\pm 50\%$.

del estudio mencionado consideran que el sector pecuario es responsable del 35 al 40% de las emisiones antropogénicas globales, precisando, además, que la fermentación entérica y el estiércol generan en conjunto cerca del 80% de las emisiones procedentes de la agricultura. Tales cifras muestran una buena concordancia con los resultados obtenidos en los inventarios colombianos.

En la Figura 2.27 se puede apreciar la proporción de cada categoría para el año 2004, donde se encuentra un comportamiento relativamente similar a través de este año analizado.

De manera similar al Módulo de energía, sin tener relación causal, y teniendo en cuenta el cambio en la metodología, el Módulo de agricultura proporcionalmente ha venido disminuyendo su cuota en el año 2004 (4,7% de diferencia con el año 1990), con respecto a los demás sectores, no obstante se ha incrementado la emisión en términos absolutos (13.143 Gg CO₂ eq de diferencia con el año 1990).

Figura 2.27 Comparación (%) año, 2004 de emisiones totales en CO₂ eq categorías del Módulo de agricultura



Fuente: Los autores, 2009

La tasa anual promedio de variación para el segundo periodo (847 Gg CO₂ eq/año) ha disminuido con respecto al primer periodo, años 1990 a 1994 (1.505 Gg CO₂ eq/año). El aporte significativo del Módulo de agricultura, el cual incluye las actividades pecuarias, radica principalmente en la emisión de metano y óxido nitroso, dos gases con potenciales de calentamiento global de 21 y 310 veces más efectivos que el CO₂ respectivamente.

El metano proveniente del Módulo de agricultura representó en el año 2004, el 66% de las emisiones totales de dicho gas; por su parte, la fermentación entérica generó 61% del total de las emisiones de metano; aportando 18,5% del total de los GEI del inventario del año 2004, al compararse en unidades de CO₂ eq. Es decir, con los datos del inventario, la fermentación entérica aportó en dicho año, cerca de 6,5% más gases de efecto invernadero que la categoría del transporte (21.769 Gg CO₂ eq). Estas distribuciones son representadas en la figura 2.27, donde se indica, además, la participación de la categoría dentro del módulo y con respecto al total de GEI emitidos en el año, en unidades de CO₂ eq.

Con respecto a las emisiones de óxido nitroso, es procedente tener en cuenta el proceso de desnitrificación que ocurre en los suelos agrícolas, el cual se esboza en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3 El proceso de desnitrificación.

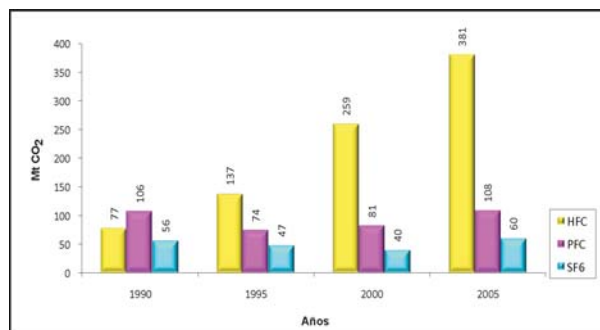
En la categoría denominada suelos agrícolas, se involucran procesos relacionados con el aporte de fertilizantes nitrogenados, los cuales pasan a formar parte del ciclo natural del nitrógeno a través del proceso de desnitrificación; transformación por medio de la cual algunas bacterias anaeróbicas se ven forzadas a usar el oxígeno del ión nitrato para sus necesidades (reducen el N₅O₃ y N₃O₂) y devuelven a la atmósfera el nitrógeno como N₂ y N₂O. Tal proceso rápido y efectivo, significa emisiones o pérdidas en suelos cultivados (lo cual es indeseable en función de la productividad), del orden de 10 a 20% de todos los nitratos formados o añadidos como fertilizantes, llegando a ser entre 40 y 60% del nitrógeno añadido como nitrato.

Previo a ello, la nitrificación (oxidación) actúa para formar los nitritos y los nitratos a partir del amoníaco con la presencia de oxígeno.

Fuente: Adaptado de DONAHUE, R. Introducción a los suelos y al crecimiento de la plantas. Cali: Prentice-Hall, 1977, p. 130.

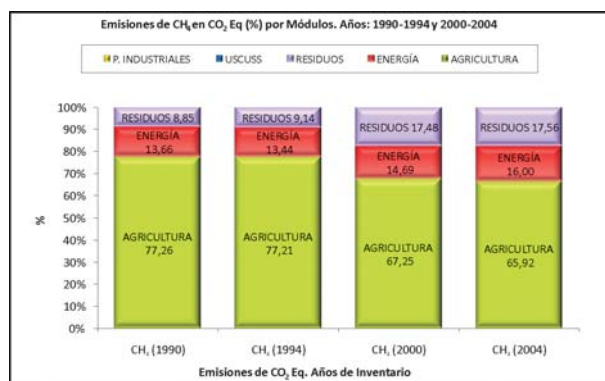
El 95,6% del óxido nitroso proviene del Módulo de Agricultura, proporción que se grafica en la Figura 2.31, advirtiendo que la ordenada (eje) inicia arriba de 90%, con el fin de poder mostrar de manera esquemática la fracción correspondiente a los demás módulos.

Figura 2.28 Participación Módulo de energía por categoría, año 2000



Fuente: Los autores, 2009

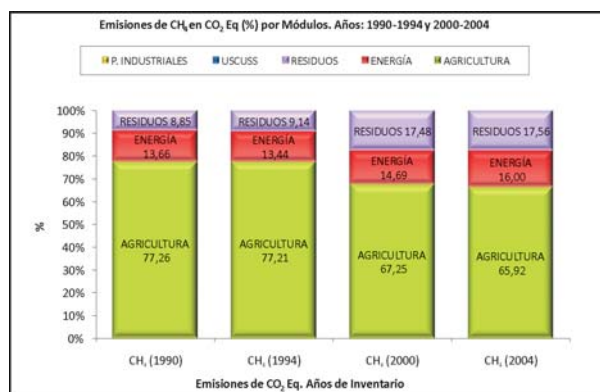
Figura 2.29 Participación Módulo de agricultura por categoría, año 2004



Fuente: Los autores, 2009

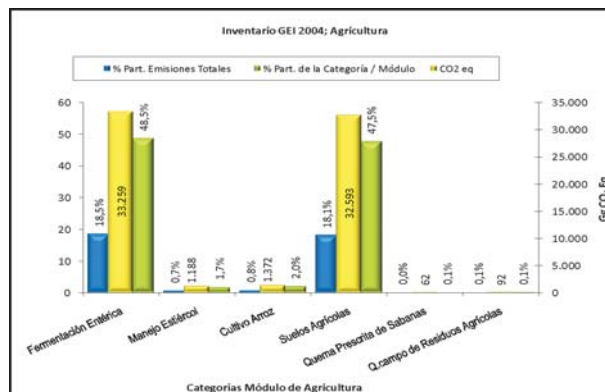
En la figuras 2.30 y 2.31, se presenta el aporte porcentual de metano y óxido nitroso para los años 1990, 1994, 2000 y 2004, estimado para cada módulo.

Figura 2.30 Aporte porcentual de CH₄ por Módulo por año



Fuente: Los autores, 2009

Figura 2.31 Aporte porcentual de N₂O por Módulo por año



Fuente: Los autores, 2009

Abreviando el comportamiento entre los dos momentos (1990 y 2004), encontramos que el Módulo de agricultura presentó un incremento de 23,7%, adicionando alrededor de 13.143 Gg de CO₂ eq en el último inventario.

2.3.11 Módulo uso del suelo (USCUS)¹⁴

2.3.11.1 Información disponible

En este módulo, el inventario avanzó con respecto al primero en la incorporación de los datos de superficie establecida con plantaciones protectoras y el número de árboles existentes en algunos centros urbanos. Aun así, es importante incorporar la información sobre el número de árboles en las zonas urbanas del resto de las ciudades del país, que no fueron incluidas en el inventario del año 2004 por no disponer de los datos correspondientes. Adicionalmente, es válido mencionar la importancia de generar cifras comparables sobre la superficie de bosques existentes para el año 2004, lo que permite contar con datos de conversión anual más propicia y diferenciable frente al año 2000.

¹⁴ Se debe tener presente que los términos suelo y tierra son equivalentes en el presente documento, para facilitar la unificación y pronunciación de la sigla adoptada (USCUS) para las naciones de lengua hispana.

Para la categoría denominada abandono de tierras cultivadas, es primordial generar información a nivel nacional de la superficie abandonada y que se encuentra en etapa de regeneración, buscando cubrir hacia el futuro un período de veinte años, en referencia con el año 2000. Lo anterior teniendo en cuenta que en las estimaciones efectuadas en los presentes inventarios (2000 y 2004), no fue posible incorporar estos valores en su verdadera dimensión, situación que podría subvalorar el potencial de captura de CO₂ del país por esta categoría.

Con respecto a la estimación de emisiones de CO₂ en los suelos, se requiere el detalle de la superficie por el sistema de uso comparable para el 2004, de tal forma que permita establecer las diferencias con los resultados del 2000. En el caso de las emisiones de CO₂ por el abonado con cal de suelos agrícolas, se recomienda contar con las cantidades reales aplicadas en cada año del inventario, puesto que la información utilizada sobre venta de fertilizantes y acondicionadores podría sobrestimar las emisiones anuales.

2.3.11.2 Metodología

Con el apoyo de expertos se avanzó en el desarrollo de una propuesta por regiones, sobre las diferentes fracciones de biomasa perdida por la categoría de conversión de bosques (biomasa quemada in situ, biomasa quemada ex situ y biomasa abandonada). No obstante, es necesario consolidar aún más esta propuesta sobre las fracciones de biomasa, incluyendo los aportes recientes de expertos y, en lo posible, los resultados que se logren en estudios de campo.

Se avanzó en la reconstrucción y actualización del proceso metodológico desarrollado por Iverson, L. *et al.* (1994) y ajustado por Alarcón y Cardona (2001) para la estimación de la biomasa presente antes de la conversión. Sin embargo, se requiere actualizar la información sobre inventarios forestales, específicamente sobre la densidad de biomasa existente en diferentes tipos de bosque, teniendo en cuenta, además, la degradación que exista.

En la categoría emisiones de CO₂ en los suelos, se lograron avances relacionados con la inclusión de los orgánicos, puesto que en los años 1990 y 1994 el cálculo se basó en emisiones de suelos minerales. En los actuales inventarios se estimaron las emisiones de suelos minerales además de los suelos orgánicos y por abonado con cal. Este cálculo mostró que las emisiones totales de CO₂ de los suelos aparentemente aumentaron en comparación con los inventarios anteriores.

No obstante el esfuerzo y los avances logrados, las emisiones del Módulo USCUS son extremadamente difíciles de cuantificar y los valores reportados por los países miembros a la CMNUCC para este sector presentan elevada incertidumbre. De ahí que este sector se excluya con frecuencia de los informes de emisiones, aunque se considere que su participación es importante (FAO, 2009)¹⁵.

2.3.11.3 Resultados

Como resultado de los cambios y avances en la interpretación de los procesos metodológicos del inventario de GEI, en particular de la inclusión de las emisiones de CO₂ por quemas de biomasa fuera del sitio de conversión, que no fueron incorporadas en los anteriores inventarios, la categoría de conversión de bosques y praderas presenta un aumento considerable en las cifras¹⁶ de las emisiones totales de CO₂ de los años 2000 y 2004, comparado con los años 1990 y 1994.

Se debe tener presente que los términos suelo y tierra son equivalentes en el inventario, para facilitar la unificación de la sigla adoptada (USCUS) por la naciones de lengua hispana.

En la Figura 2.32, se observa que la participación del módulo está aumentando (alrededor de 5,6% con respecto al primer inventario (1990 y 1994); principalmente por la categoría denominada conversión de bosques y praderas (3.406 Gg CO₂ eq a 16.639 Gg CO₂ eq de 1990 a 2004). Dicho valor estimado en el inventario del año 2004 (9,4% con respecto al total de emisiones) es proporcionalmente similar al reportado a nivel mundial por la FAO (2009), quien identifica que el sector pecuario produce 9% de las emisiones de CO₂ de origen antropógeno, la mayor parte de las cuales se debe a los cambios en el uso de la tierra (principalmente, la deforestación) causados por la expansión de pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes.

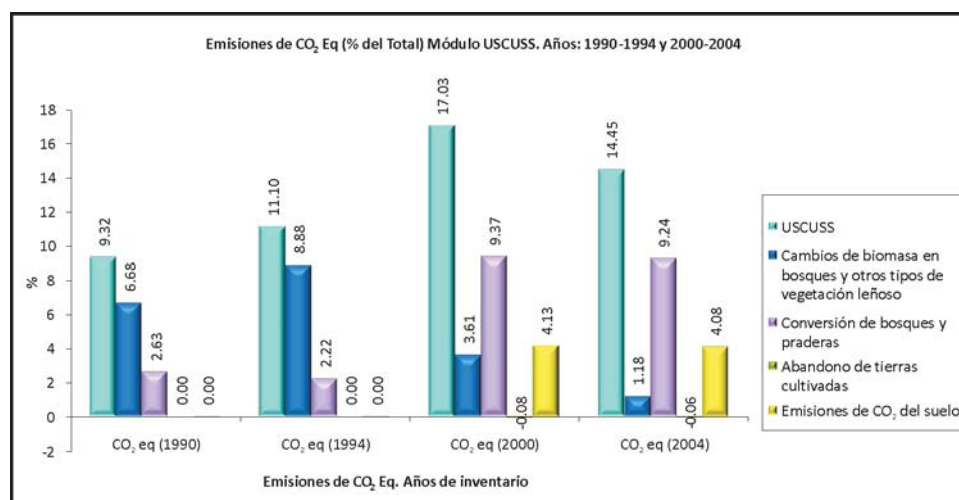
El incremento en términos de las emisiones del conjunto del módulo, es de alrededor de 100%, con respecto al primer inventario (1990 y 1994), al pasar de un aporte promedio por inventario de 14.350 Gg CO₂ eq a 28.127 Gg CO₂ eq. Adicionalmente, en la categoría de la emisión de CO₂ de los suelos, existen diferencias metodológicas que impiden la comparación de los inventarios.

¹⁵ FAO. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Cap. 3. El papel del ganado en el cambio climático y en la contaminación atmosférica. Roma: FAO. 2009. p. 126.

¹⁶ Ibid., Sinopsis, p. 22.

No obstante lo anterior, la reducción de emisiones del módulo, entre los años 2000 y 2004, se debe fundamentalmente a la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, como resultado de la cantidad de biomasa cosechada, especialmente en el consumo de leña y por el aumento en la remoción de CO_2 , por el incremento en la superficie de plantaciones forestales establecidas.

Figura 2.32 Comparación porcentual por años de las emisiones totales en CO_2 eq categorías del Módulo USCUS



Fuente: Los autores, 2009.

En suma, el Módulo uso del suelo, cambio del uso del suelo y silvicultura, añadió en el lapso de 1990 a 2004, 13.954 Gg de CO_2 eq, reflejándose en un incremento de 116%.

2.3.12 Módulo de residuos

2.3.12.1 Información disponible

Para el inventario 2000 y 2004, se dispuso de mejor información comparada con la que se tuvo para los inventarios de 1990 y 1994, adicionalmente, se logró precisar en detalle la información relacionada con la fracción tratada de aguas residuales domésticas e industriales, fracción de residuos sólidos dispuestos por tipo de disposición y cargas orgánicas tratadas por el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

De otra parte, la carencia de cifras tanto actuales como históricas de las cantidades, composición y las prácticas de disposición de los residuos a lo largo de varias décadas en Colombia, no permite utilizar el método de descomposición de primer orden, según la metodología de nivel 2 del IPCC. Para lograr un perfil de emisión, es necesario detallar el tiempo transcurrido desde la disposición, de manera que refleje las verdaderas pautas del proceso de degradación a lo largo del tiempo. Para el actual inventario se utilizó el método por omisión o defecto, con la información disponible de la actividad en el país, bajo el supuesto de que la totalidad del CH_4 potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los desechos.

2.3.12.2 Metodología

El inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el Módulo de residuos, es el resultado del cálculo de las emisiones de metano (CH_4) como resultado de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos y aguas residuales domésticas e industriales, y las emisiones de óxido nitroso (N_2O) proveniente de los procesos de nitrificación y desnitrificación del contenido de nitrógeno en las excretas humanas (urea, nitratos y proteínas).

Para determinar las emisiones del Módulo de residuos se utilizó el método por defecto o nivel 1 establecido por el IPCC, el cual está basado en la suposición de que la totalidad del metano potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los residuos.

Esta metodología utilizada tuvo en cuenta la recopilación de información básica, procesamiento de datos y resultados consolidados de las emisiones de metano y óxido nitroso a partir de estadísticas referentes al sector, estimaciones y

factores propuestos por el IPCC. Dicha información se consolidó a través de datos estadísticos del nivel nacional, regional y local, y del análisis de estudios e investigaciones. Adicionalmente, el procesamiento de los datos se realizó teniendo en cuenta las proyecciones y cálculos de las variables utilizadas.

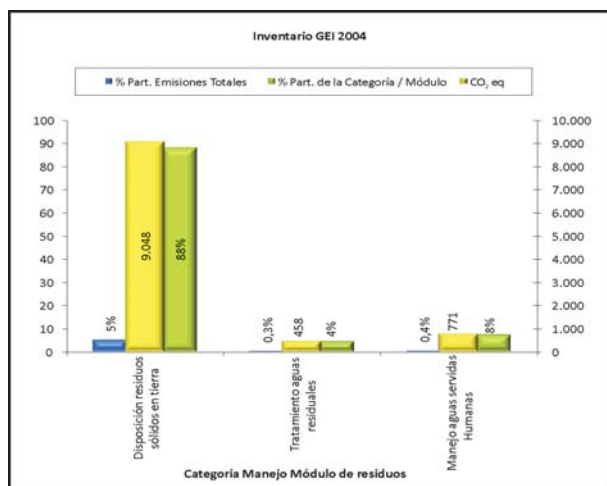
Las emisiones totales del módulo en toneladas equivalentes de CO₂, para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 muestran una tendencia creciente, exceptuando las emisiones provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, que entre 1990 y 1994 presentan un leve descenso principalmente por la metodología aplicada estos años de inventario, en donde se utilizaron datos de las descargas de aguas residuales industriales con base en datos estimados; mientras que para el presente inventario se contó con información de descargas de la medición real de flujos y caracterización de las aguas residuales.

Es importante desatacar que en los resultados presentados existe un avance significativo en las metodologías aplicadas con respecto al primer inventario, lo cual se refleja en las cifras de emisiones de GEI más acordes con el contexto colombiano. En este sentido, en el inventario se presentan los resultados obtenidos luego de un proceso de consulta con diversas entidades como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Agencia de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), entre otras instituciones que estuvieron involucradas en el tema y que conformaron la mesa técnica del Módulo de residuos.

2.3.12.3 Resultados

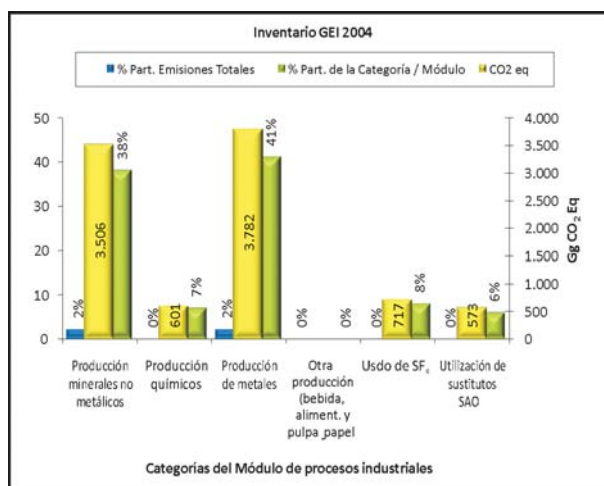
En el Módulo de residuos la categoría denominada disposición de residuos en tierra genera 88% de las emisiones, a diferencia del Módulo de procesos industriales, donde se reparte fundamentalmente en dos categorías producción de minerales no metálicos y producción de metales. Véase Figuras 2.33 y 2.34. En el año 2004, el módulo de residuos presentó, en términos globales, una contribución (5,7%) similar al Módulo de procesos industriales (5,1%); comparación que se facilita al observar en la Figuras 2.4.

Figura 2.33 Participación Módulo de residuos, categoría año 2004



Fuente: Los autores, 2009

Figura 2.34 Participación Módulo de procesos industriales, categoría año 2004

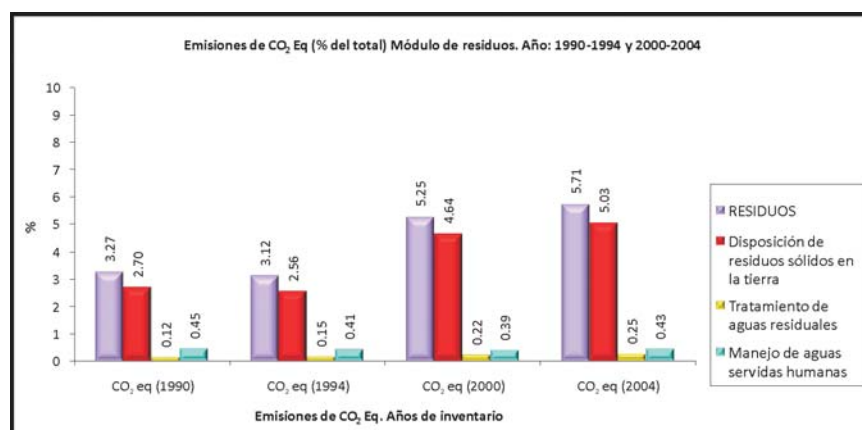


Fuente: Los autores, 2009

El comportamiento del módulo a través de los años, además de presentar un incremento en la proporción respecto a los demás módulos (3,3% a 5,7%), al tomar las emisiones del año 1990 como referencia, es el módulo con mayor incremento relativo hasta el año 2004 (143%), no obstante es muy bajo su aporte en las emisiones totales del inventario nacional. Lo anterior al tomar las cifras de dichos años en aportes de CO₂ eq (4.232 Gg en 1990 a 10.278 Gg en 2004).

Las categorías definidas como tratamiento de aguas residuales y manejo de aguas servidas humanas, si bien no aportan una cifra significativa dentro del total de las emisiones, es válido comentar el incremento porcentual (183%) dentro la misma categoría entre los años 1990 (162 Gg CO₂ eq) y 2004 (458 Gg CO₂ eq), para la primera categoría mencionada. Lo anterior puede explicarse en parte por la gestión adelantada por las diferentes empresas con el respectivo aporte de la información (Véase la Figura 2.35).

Figura 2.35 Comparación porcentual por años de las emisiones totales en CO₂ eq categorías del Módulo de residuos



Fuente: Los autores, 2009

2.4 CONCLUSIONES GENERALES DEL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En términos generales, se dispuso de mejor información, en comparación con la obtenida para el inventario 1990 y 1994; lo anterior conlleva a obtener resultados más cercanos con la realidad nacional.

Adicionalmente, es procedente advertir que la comparación de las emisiones totales del presente inventario de GEI (2000 y 2004), con respecto al inventario de los años 1990 y 1994, debe ser cuidadosa, teniendo en cuenta tanto la variación en la metodología utilizada como la precisión en la información disponible que se usó en ambos inventarios (por ejemplo, tanto la capturas de sistemas de información como la estimada a través de factores de producción) y la utilización de los factores de emisión propuestos por el IPCC. Por tales razones, si bien en las conclusiones se presentan las variaciones o diferencias, las cifras deben tomarse de manera indicativa sin que éstas permitan su comparación directa.

Con base en los inventarios adelantados por el país para los años 1990 (129.466 Gg de CO₂ eq), 1994 (149.869 Gg de CO₂ eq), 2000 (177.575 Gg de CO₂ eq) y 2004 (180.010 Gg de CO₂ eq), si bien se aprecia un aumento en valores absolutos en las emisiones, es preciso mencionar que la tasa de variación anual viene descendiendo, con valores que van del orden de 3,94% para el primer lapso (1990 a 1994); 3,72% para el segundo (1990 a 2000) y 2,79% para el tercer intervalo (2000 a 2004).

En valores enteros, los sectores que más emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) aportaron en el año 2004 son: agricultura (38%); energía (37%) y uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (14%). Le siguen: residuos sólidos (6%) y procesos industriales (5%). Es decir, las actividades del sector agropecuario, incluyendo el USCUS, contribuyen con más de 50% de las emisiones totales de GEI. Es necesario aclarar que en el Módulo de agricultura se incluyen las actividades pecuarias. Las emisiones del sector transporte representan 12,1% dentro del total de gases.

Las emisiones de CO₂ eq de otros países latinoamericanos como Venezuela (1999), México (2002), estuvieron mayormente representadas en el sector energético (véase la Figura 2.24). Por su parte, aquellos países donde se encuentra una alta representatividad del sector agropecuario, como Argentina, Paraguay y Colombia, el aporte por el sector agrícola tiene un peso significativo en el inventario.

Las emisiones por la fermentación entérica (18,5%), suelos agrícolas (18,1%), junto con la conversión de bosques y praderas (9,2%) y emisión de CO₂ del suelo (4,1%), representaron 50% de las emisiones totales en el año 2004.

En valores medios y comparándolos en unidades de CO₂ equivalentes, el gas que más aporta Colombia es el CO₂ (50%), seguido por metano (30%) y óxido nitroso (19%); aproximadamente 1% restante de la emisiones de gases de efecto invernadero se encuentra entre los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (CFC) y SF₆, a pesar de tener un potencial de calentamiento mucho mayor que los tres primeros.

En la Tabla 2.5 se presentan las actividades o categorías que más aportaron GEI en unidades de CO₂ eq, en el año 2004. Las demás categorías se distancian significativamente de las presentadas en dicha tabla. Es decir, en dicha tabla se muestran las categorías que aportan el 80% de los GEI.

Tabla 2.5 Principales Módulos y Categorías / % de CO₂ eq, año 2004

	Módulos y categorías principales	% de CO ₂ eq.
Energía	Transporte	12,1
	Industrias de la energía	8,5
	Industrias manufactureras y de la construcción	7,3
Agricultura	Fermentación entérica	18,5
	Suelos agrícolas	18,1
USCUSS	Emisión de CO ₂ del suelo	4,1
	Conversión de bosques y praderas	9,2
Residuos	Disposición de residuos sólidos en la tierra	5,0

Fuente: Los autores, 2009

De otra parte, si bien es cierto que las comparaciones no muestran todos los detalles del trasfondo de las situaciones, es pertinente destacar la relación de Colombia frente al contexto regional y mundial. Como bien se expuso antes, las emisiones individuales (per cápita) de Colombia están por debajo del valor medio mundial y muy distante de los valores registrados para Europa, Asia Occidental y Norteamérica.

En el ámbito global, las cifras (WRI, 2009) permiten hallar a Colombia más allá de la posición 115, con respecto de las emisiones per cápita para el año 2000, no obstante, con respecto al total emitido para ese año (0,42%) se ubicaría dentro de los primeros 50 países que más emiten gases efecto invernadero. En Latinoamérica, los principales países emisores son: Brasil, México, Argentina, Venezuela, Colombia, Paraguay, Perú, Ecuador, Bolivia, Chile, entre otros. Se insiste que la ordenación o localización es un referente, el cual siempre está a merced de los respectivos ajustes.

Finalmente, con el presente inventario, el país puede realizar un análisis detallado del origen de las emisiones de GEI, cuyo resultado debe ser tomado como una herramienta para la gestión empresarial, orientado principalmente en la toma de decisiones y la focalización de esfuerzos que realicen los diferentes sectores en la implementación de medidas de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.4.1 Módulo de energía

La generación de gases efecto invernadero (GEI) en el Módulo de energía, en general, muestra una tendencia creciente en las emisiones de CO₂, por quema de combustibles fósiles hasta el año 2000 y se mantiene constante en el periodo 2000 a 2004. En este periodo se adelantaron gestiones relacionadas con las políticas de sustitución de combustibles y de precios, además de fenómenos hídricos favorables, lo que explica el poco crecimiento en emisiones de GEI en este sector.

Colombia presenta una baja emisión de GEI en este sector, teniendo en cuenta que la mayor cantidad de generación energética proviene de hidroeléctricas (78%) y sólo el 5,4% es atendido por termoeléctricas que operan con carbón¹⁷.

La introducción de la política de masificación del gas en Colombia en el sector transporte, iniciada en la década de los años 90, disminuyó el uso de otras fuentes más generadoras de GEI. Dado que éste representa más de 12% del total de emisiones de CO₂ eq la política de gasificación a través de la reconversión de combustibles produjo una reducción significativa en las emisiones. En el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006, y su estrategia impulsó la exploración y explotación de hidrocarburos y minería, se definió el programa de incremento de vehículos convertidos a gas natural. Este programa estableció como meta para el cuatrienio la conversión de 64.000 vehículos, cumpliéndose en su totalidad y superándola hasta llegar a 168.523 para diciembre de 2006. Igualmente, el PND 2006-2010 continuó con el mismo programa y estableció una meta de 160.000 vehículos convertidos, de la cual se ha logrado importantes avances, ya que para noviembre de 2008 se reportó un total acumulado de 277.685 vehículos transformados a gas natural en el país (MME, 2006 & 2008, en Nieves, 2009).

2.4.2 Módulo de procesos industriales

El inventario de GEI para Colombia de los años 1990 y 1994, estimó las emisiones de 31 actividades productivas; en el presente inventario para los años 2000 y 2004, se reportan las emisiones de 47 actividades productivas; bajo esta condición relativa, la comparación de los resultados debe tenerse como una aproximación o condición indicativa.

17 Según datos de la UPME (2007) en términos de generación, 78% de la electricidad del país es generada con plantas hidráulicas, 16,9% con unidades térmicas (11,4% con a gas y 5,4% a carbón) y 5,1% con generación de plantas menores, cogeneradores y eólica. Ver capítulo: Mitigación, para mayor detalle.

En términos de CO₂ equivalente, las emisiones totales del Módulo de procesos industriales muestran una tendencia creciente para el periodo 1990-2004. No se debe perder de vista que para el inventario 2000 y 2004 se incluyeron otros gases de efecto invernadero, como son los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Tales incrementos pueden ser explicados en parte por la inclusión en el cálculo de las emisiones de procesos como son: usos de carbonato de sodio, producción de aluminio y producción de aleaciones ferrosas, no tomados en consideración en el primer inventario.

Además, se debe apreciar que para el inventario del 2004 la categoría de fuente más representativa fue la producción de aleaciones ferrosas, con un porcentaje de participación de CO₂ de 12,26%. Debe tenerse en cuenta que ésta presentó un aumento en la generación de GEI de 2000 (385,97 CO₂ eq) a 2004 (846,63 CO₂ eq) la cual se explica en parte con el incremento de la capacidad de beneficio de ferroníquel, teniendo en cuenta la entrada en operación de una segunda línea de producción que aumentó la misma pasando de alrededor de 28.000 t/año antes de 2001, a 53.812 t en 2004.

2.4.3 Módulo de agricultura

Se destaca el avance en el presente inventario del esfuerzo destinado a obtener la información necesaria para caracterizar y analizar la población ganadera en el país, lo cual permitió una estimación más precisa de los factores de emisión para Colombia. Es decir, a partir de dicha gestión se pudo utilizar la metodología de nivel 2 para la categoría de fuente: manejo de ganado doméstico comparado con los valores estimados para esta misma categoría en el inventario de los años 1990 y 1994.

En la década del noventa, las emisiones de metano procedentes de la actividad ganadera aportaron un promedio de 1.334,4 Gg, de las cuales la fermentación entérica fue la que más influyó en este comportamiento con 82,61%. Para los años 2000 y 2004, se registra un aumento de estas emisiones a 1.528,27 Gg; de éstas, 93,19% corresponde a dicha categoría.

De otro lado, frente a las emisiones totales de CH₄, el manejo del estiércol representó 2,0% para los años 1990 y 1994; mientras que para los años 2000 y 2004 su contribución fue de 2,64%. Este comportamiento se relaciona con el aumento del hato ganadero, el cual pasó de 24.114.450 cabezas de ganado bovino para la década de los años noventa, a 24.550.834 de cabezas de ganado bovino reportadas para los años 2000 y 2004.

El cambio de 31.697 Gg de CO₂ eq en el año 2000 a 32.593 Gg de CO₂ eq en 2004 en la categoría de suelos agrícolas se deriva del manejo de los fertilizantes nitrogenados, debido al aumento del área cosechada entre 2000 y 2005 para alcanzar una superficie de 38.855 ha, y al incremento en la producción agrícola hasta 2.282.357 toneladas para este mismo periodo. Debe tenerse en cuenta que esta categoría representa alrededor de 48% de las emisiones de GEI dentro de la misma.

Por su parte, el aumento de la generación de GEI del inventario entre los años 2000 y 2004 se concentra en el hato no lechero que pasó de aportar 27.772 de CO₂ eq (equivalente a 42% de las emisiones de esta categoría) a 30.266 de CO₂ eq (equivalente a 44% de las emisiones de esta categoría) para estos años.

Teniendo en cuenta lo anterior y dada la importancia que el cambio climático tiene en los diferentes escenarios, además del reto que implica en materia de producción y competitividad, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, consciente de la relevancia que el cambio climático posee en el desarrollo del sector agropecuario, diseñó una estrategia de investigación ligada con las cadenas productivas, denominada Agricultura y Cambio Climático.

2.4.4 Módulo de USCUS

La comparación de resultados del inventario 1990 y 1994, con el actual (2000 y 2004), implica observar las diferencias en las metodologías y el detalle de la información utilizada para cada uno de ellos. Sin embargo, por circunstancias relacionadas con diferencias en las concepciones metodológicas de los dos inventarios, a partir de la aplicación de las Directrices del IPCC (Rev., 1996), no es recomendable realizar una interpretación directa de las diferencias en las emisiones a partir de los resultados del inventario de GEI de 1990 y 1994.

De igual manera, no es posible realizar una lectura directa en cuanto a las remociones de CO₂ que, de acuerdo con los resultados presentados en los dos inventarios, tienden a disminuir sustancialmente; no obstante, en este caso también existen diferencias metodológicas y de disponibilidad de información que no permiten una comparación meridiana entre los resultados obtenidos para los dos momentos.

Se resaltan las disminuciones en las emisiones netas de CO₂ para la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa; en contraste con los posibles aumentos en las emisiones de CO₂ para las categorías de conversión de bosques y praderas y de emisiones de CO₂ de los suelos. De nuevo, estos aumentos, así como la aparente disminución en remociones de CO₂, se relacionan con cambios en la interpretación metodológica para la realización de los dos inventarios.

Comparando los resultados de las emisiones netas de CO₂ para los años 2000 y 2004, se evidencia la disminución en 14%, atribuible principalmente a la disminución de las emisiones netas de la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, y en una menor proporción, por el aumento de las remociones de CO₂ en la categoría abandono de tierras cultivadas.

Adicionalmente, las menores emisiones por actividades relacionadas con los cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa, resulta de la disminución en las emisiones por la cantidad de biomasa cosechada, especialmente en el consumo de leña, y por el aumento en la remoción de CO₂ explicada en parte por el incremento en la superficie de plantaciones forestales establecidas.

Respecto a los resultados de las categorías denominadas: conversión de bosques y praderas y, emisiones de CO₂ de los suelos, estas cifras no variaron sustancialmente, máxime si se tiene en cuenta que la información específica para cada año no fue lo suficientemente precisa.

2.4.5 Módulo de residuos

Las emisiones totales en CO₂ equivalentes del Módulo de residuos para los años 1990, 1994, 2000 y 2004, muestran una tendencia creciente, exceptuando las emisiones provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, que presenta un leve descenso entre 1990 y 1994. Este comportamiento puede explicarse, en principio, por la aplicación de la metodología utilizada. Para el primer inventario, se utilizaron descargas de aguas residuales industriales con base en productos (datos estimados), mientras que para este inventario se tiene información con descargas medidas (medición de flujos y caracterización de aguas residuales).

2.4.6 Necesidades de información

Para el Módulo de energía del inventario de GEI, la mesa técnica correspondiente propuso la creación de un comité intersectorial de balances energéticos nacionales y regionales, como instancia de seguimiento de la información energética para analizar sus variaciones y tendencias. Adicionalmente, fortalecer las sinergias institucionales, mediante la participación de entidades oficiales, gremios y sector privado para el levantamiento y envío de la información con su respectiva actualización y verificación, por ejemplo en relación con información sobre biomasa y el consumo de combustibles del transporte nacional e internacional.

Además, gestionar con el DANE, el Ministerio de Transporte y demás instituciones identificadas como posibles fuentes de información para el cálculo por metodologías detalladas, la inclusión en sus instrumentos de captura de datos de la información requerida para el cálculo de emisiones de GEI. Por ejemplo, ajustar la información sobre producción de carbón requerida en el Formato Básico Minero del Ingeominas, de acuerdo con los requerimientos de la metodología del inventario.

En el Módulo de procesos industriales se estableció que se deben mejorar y fortalecer los registros emitidos por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y la DIAN para obtener información desagregada sobre el uso de sustitutos de SAO y SF₆, igualmente optimizar la coordinación con el sector siderúrgico, con el fin de precisar la información de tales categorías. Además, fortalecer la generación de información estadística de las Cámaras Sectoriales de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI).

Las principales necesidades de información para el cálculo del Módulo de agricultura están relacionadas con la obtención de un inventario detallado de ganado vacuno y el consumo promedio de fertilizantes nitrogenados en el país, según las clases de cultivos, región, tipo de suelo y clima. Se propone emplear como información base, las áreas sembradas contra la cantidad de nitrógeno aplicado por hectárea.

Para el cultivo arroz, dada la complejidad en la relación suelo-agua-cultivo, que determina la producción de metano, es necesario adelantar investigaciones que apunten a la precisión de los factores de emisión nacionales.

Aunque la categoría de fuente quema de sabanas, no aporta significativamente a las emisiones del módulo, sí lo hace frente a la incertidumbre del mismo, resultado del escaso conocimiento de la dinámica de los ecosistemas de sabanas. Se propone una investigación que mediante ensayos de biomasa en campo e interpretación multianual de imágenes de satélite, permita conocer de manera científica la dinámica de emisiones de GEI para esta categoría.

Aunque la quema de residuos agrícolas no constituye una fuente principal de GEI, es importante investigar la ocurrencia e intensidad de esta actividad a nivel nacional. Asimismo, establecer valores para desperdicios a partir de la relación residuos/producción, fracción de materia seca, fracción quemada en campo y oxidada (datos de mayor incertidumbre), para los principales cultivos reportados por la Encuesta Nacional Agropecuaria, como: arroz, maíz, trigo, sorgo, caña panelera y caña de azúcar.

En relación con el Módulo de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, es importante detallar la información sobre la superficie de plantaciones forestales, descontando la superficie aprovechada que existe al año del inventario, asimismo, determinar las cifras de superficie anual plantada al menos para las principales especies de la superficie ocupada. Adicionalmente, se requiere establecer la superficie de bosques intervenidos o aprovechados y las tasas de crecimiento anuales.

En el Módulo de residuos, se deben consolidar los sistemas de información de las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios y de los entes territoriales, en particular para los datos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.

Para mejorar la certidumbre en el cálculo del inventario, es necesario que las instituciones que reportan las estadísticas provean los indicadores básicos con estadígrafos procesados desde la fuente de captura y procesamiento inicial (promedios, desviación estándar, mínimos, máximos, coeficientes de variación, etc.) y junto con ellos examinar las inconsistencias en el nivel de los datos de la actividad, con el fin de cuantificarla y controlarla.

Se requiere generar información que permita cálculos más confiables. Por ejemplo, para el Módulo de procesos industriales se utilizó como variable Proxy¹⁸ de la producción, la capacidad instalada y en el Módulo de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura, como Proxy de la variable superficie total abandonada en etapa de regeneración en los últimos 20 años, el área en cultivos ilícitos. Este procedimiento puede ser útil en categorías de fuente que no son relevantes para el inventario de emisiones pero la incertidumbre en el nivel real del dato de la actividad no puede asumirse como la varianza no explicada por la variable Proxy, razón por la cual es necesario compararla con otras fuentes de información.

Para futuros inventarios, se recomienda hacer un análisis gráfico utilizando histogramas de frecuencia de las incertidumbres para el dato de la actividad y el factor de emisión por categoría de fuentes de los años 1990, 1994, 2000 y 2004, para luego determinar su función de distribución de probabilidad. De esa forma, se contaría con análisis de incertidumbres más compactas y robustas para Colombia.

18 Cuando no se cuenta con la información requerida para el cálculo de las emisiones, ya sea porque el dato es inconsistente o no está registrado, es posible recurrir a otras variables que dan información aproximada; estas variables se conocen como variables Proxy.

BIBLIOGRAFÍA

- Donahue, R. (1977). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Cali: Prentice-Hall, 1977. p. 624
- FAO. (2009). Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan de, C. La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Ed. en español. Recuperado en junio de 2009, de <http://www.fao.org/docrep/011/a0701s/a0701s00.htm>. Roma: FAO. p. 22, 87 y 126-128.
- Indexmundi. (2009). PPP per cápita Colombia GDP. Recuperado en julio de 2009.
[http://www.indexmundi.com/colombia/gdp_\(purchasing_power_parity\).html](http://www.indexmundi.com/colombia/gdp_(purchasing_power_parity).html)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2009). Inventario nacional de gases de efecto invernadero, años 2000 y 2004. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. IDEAM, MAVDT y PNUD. Bogotá: Autores. p. 345
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Cambridge, Reino Unido: Parry, O., et al. p. 114.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza: 2008. p. 2.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Nieves, H. (2009). Informe del componente de mitigación del cambio climático para la Segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC. Documento interno para el Ideam. Bogotá: Ideam. p. 97
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD]. (2006). Estudio sectorial aseo 2002- 2005. Bogotá: SSPD.
- Taylor, A. & Taylor, M. (2009). The purchasing power parity debate. Working Paper 10607. Recuperado en julio de 2009, de <http://www.nber.org/papers/w10607>. p. 34
- UNFCCC. (2009). consultados en abril de 2009. En: http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/time_series_annex_i
- UNFCCC. (2009). Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party. Recuperado en julio de 2009, de <http://unfccc.int/di/DetailedByParty.do>.
- UNFCCC. (2009). Series estadísticas de países parte del Anexo I, de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Información obtenida de la página en abril de 2009.[On line] http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/ghg_profiles/items/
- Unidad de planeación minero energética [UPME]. (2007). Plan de expansión de referencia generación transmisión 2008-2022. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía de Colombia - UPME. p. 203
- World Resources Institute [WRI]. (2008). Climate Analysis Indicator Tool (CAIT). Version 5. Washington; citado por: Naciones Unidas, Cepal & GTZ, climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. (Documento de proyecto). Recuperado en abril de 2009, de http://www.oei.es/noticias/spip.php?article4590&debut_5ultimasOEI=25. Santiago de Chile: febrero de 2009. p. 111.
- World Resources Institute [WRI]. (2009). World Resources Institute. Climate Analysis Indicator Tool (CAIT). Version 6. Washington. Recuperado en abril de 2009, de <http://cait.wri.org/cait.php?page=yearly>.