

3

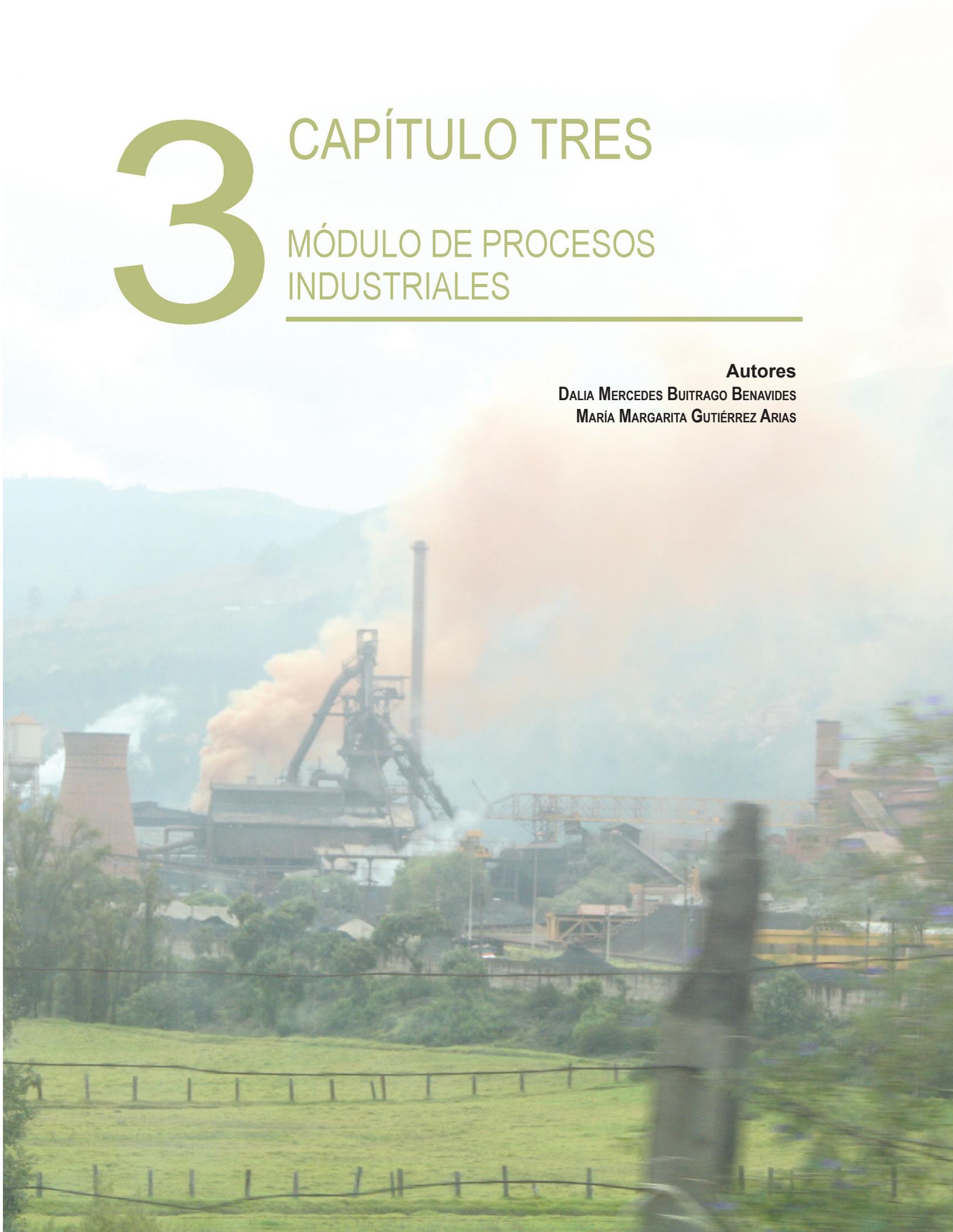
CAPÍTULO TRES

MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES

Autores

DALIA MERCEDES BUITRAGO BENAVIDES

MARÍA MARGARITA GUTIÉRREZ ARIAS



Mesa Técnica de Trabajo Interinstitucional

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Unidad Técnica de Ozono (UTO),
Jorge Sánchez, Nidia Pabón y Paola Sánchez;
Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible,
Diana Moreno y Grupo de Mitigación de Cambio Climático, **Roberto Esmeral.**
 - Ministerio de Comercio Exterior,
Gloria Inés Cañas.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-,
Mónica Rodríguez y Flor Sofia Solano.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
Dalia Mercedes Buitrago Benavides, María Margarita Gutiérrez, Gabriel de Jesús Saldarriaga Orozco,
Luz Dary Yepes Rubiano y Magda Mallen Sierra Urrego.
 - Unidad de Planeación Minero Energética (UPME),
Ciro Serrano, Enrique Garzón y Sergio Mejía
 - Abocol S.A.,
Luis Miguel Llelaty.
 - Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN),
Laura Castro.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI),
Ángela Gómez, Magdalena Uribe,
Juan Manuel Lesmes, Arturo Quiroz y Ximena Fajardo.
 - ACASA S.A., **Luis Carlos Corzo.**
 - Acerías Paz del Río, **Mario Socha.**
 - Acoplásticos, **Paula Fernández.**
 - ARGOS S.A., **Hernán Pulido.**
 - Brinsa S.A., **Germán Agudelo.**
 - Cerromatoso S.A., **Gustavo Alfonso Cano.**
 - Caldesa S.A., **Lina Aguilera.**
 - Ecopetrol S.A., **Carolina Kitchen.**
 - Grupo Siderúrgico (DIACO S.A.), **Narbal Dieter.**
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), **Ricardo Matallana.**
 - Monómeros Colombo Venezolanos S.A., **Marco Martínez.**
 - Siderúrgica de Occidente S.A., **Claudia Magaña.**
 - Siderúrgica Nacional (Sidenal S.A.), **Isabel Reyna.**

Colaboradores

- Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos Domiciliarios y Actividades Complementarias e Inherentes (Andesco).
 - Centrales Eléctricas del Cauca, S.A. – ESP. • Centrales Eléctricas de Nariño S.A. – ESP.
 - Centrales Eléctricas del Norte de Santander, S.A. – ESP. • Compañía de Electricidad de Tuluá.
- Empresa de Energía de Bogotá S.A. – ESP. • Codensa S.A. – ESP. • Emgesa. • Empresa de Energía del Putumayo S.A. – ESP.
 - Empresas Municipales de Cartago S.A. – ESP. • Transelca S.A. – ESP. • Empresas Públicas de Medellín – ESP.
- Electrificadora del Meta S.A. – ESP. • Electrificadora del Caquetá S.A. • Empresa de Energía del Pacífico S.A.
 - Compañía de Electricidad de Tuluá. • Interconexión Eléctrica S.A. - ESP. • Isagen

Coordinadores del Capítulo

Gabriel de Jesús Saldarriaga Orozco
Magda Mallen Sierra Urrego

Supervisión

Luz Dary Yepes Rubiano

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	121
3.1 GENERALIDADES DEL SECTOR INDUSTRIAL	121
3.1.1 Indicadores macroeconómicos	122
3.1.2 Análisis sectoriales	123
3.1.2.1 Producción de minerales no metálicos	123
3.1.2.2 Producción de químicos	124
3.1.2.3 Producción de metales	124
3.1.2.4 Producción de bebidas	124
3.1.2.5 Producción de alimentos	124
3.1.2.6 Producción de pulpa de papel	126
3.1.2.7 Utilización de hexafluoruro de azufre (SF ₆)	126
3.1.2.8 Utilización de Sustitutos de Sustancias Agotadoras de Ozono ²⁵ (SAO)	126
3.2 Cálculo de Emisiones de GEI para el Módulo	127
3.3 Análisis de la Información Usada en el Cálculo de las Emisiones de GEI	128
3.4 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEIB	130
3.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI	131
3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	135
3.6.1 Resultados de las Emisiones por Tipo de Gas para los años 2000 y 2004	135
3.6.1.1 Resultados de las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	135
3.6.1.2 Resultados de las emisiones de metano (CH ₄)	135
3.6.1.3 Resultados de las emisiones de óxido nitroso (N ₂ O)	136
3.6.1.4 Resultados de las emisiones de perfluorocarbonos (PFC)	136
3.6.1.5 Resultados de las emisiones de hexafluoruro de azufre (SF ₆)	136
3.6.1.6 Resultados de las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC)	136
3.6.2 Resultados de las Emisiones de GEI por Categoría de Fuente	137
3.6.3 Resultados de las Emisiones de Precursores de GEI y Aerosoles	138
3.6.3.1 Resultados de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO _x)	138
3.6.3.2 Resultados de las emisiones de monóxido de carbono (CO)	138
3.6.3.3 Emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM)	138
3.6.3.4 Resultados de las emisiones de dióxido de azufre (SO ₂)	140
3.6.4 Comportamiento de las Emisiones de GEI, Precursores de GEI y Aerosoles, años 1990, 1994, 2000 y 2004	141



	Página
3.6.4.1 Tendencia y participación de las emisiones de GEI en unidades de CO ₂ equivalentes	141
3.6.4.2 Tendencia de las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂)	142
3.6.4.3 Tendencia de las emisiones de metano (CH ₄)	142
3.6.4.4 Tendencia de las emisiones de óxido nitroso (N ₂ O)	143
3.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	143
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla 3.1 Emisiones de GEI para el Módulo de procesos industriales (año 2000)	131
Tabla 3.2 Emisiones de GEI para el Módulo de procesos industriales (año 2004)	132
CONTENIDO D E FIGURAS	
Figura 3.1 Mapa Político administrativo de Colombia	127
Figura 3.2 Metodologías para el cálculo de emisiones del Módulo de procesos industriales	128
Figura 3.3 Categorías de fuentes de emisión en el Módulo de procesos industriales	130
Figura 3.4 Estructura de cálculo Módulo procesos industriales por las metodologías de nivel 1 y 2	135
Figura 3.5 Emisiones de CO ₂ por categoría de fuente	136
Figura 3.6 Emisiones de CH ₄ por categoría de fuente	137
Figura 3.7 Emisiones de HFC por su uso como sustitutos de SAO	137
Figura 3.8 Emisiones de GEI en unidades de CO ₂ equivalentes	138
Figura 3.9 Emisiones de HFC en unidades de CO ₂ equivalentes por categoría de fuente	139
Figura 3.10 Emisiones de NOx por categoría de fuente	139
Figura 3.11 Emisiones de CO por categoría de fuente	140
Figura 3.12 Emisiones de COVDM por categoría de fuente año, 2000	140
Figura 3.13 Emisiones de COVDM por categoría de fuente año, 2004	141
Figura 3.14 Emisiones de SO ₂ por categoría de fuente	141
Figura 3.15 Participación de las emisiones de GEI en el Módulo de procesos industriales	142
CONTENIDO DE CUADROS	
Cuadro 3.1 Industria, asentamientos humanos y sociedad	122
Cuadro 3.2 Alimentos, fibras y productos forestales	126
CONTENIDO DE FOTOS	
Foto 3.1 Sector suroriental en Bogotá. Mauricio Cabrera L., 2009	117
Foto 3.3 Vista del centro de Bogotá. Mauricio Cabrera L., 2009	123

INTRODUCCIÓN

En el Módulo de procesos industriales se presenta una descripción general del sector industrial que incluye los indicadores económicos más relevantes del mismo, una descripción de la metodología y las variables usadas en el cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y un análisis de los resultados obtenidos. Dentro de este módulo se cuantifican las emisiones de GEI y sus precursores generados por actividades relacionadas con los procesos industriales (uso y transformación de materias primas a través de procesos físicos y químicos), por el uso de gases de efecto invernadero en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles.

El cálculo de las emisiones y análisis del Módulo de procesos industriales se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por el IPCC para la elaboración del inventario (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1997).

Dentro del Módulo de procesos industriales se realiza el cálculo de las emisiones de los siguientes gases de efecto invernadero:

- Dióxido de carbono (CO_2).
- Metano (CH_4).
- Óxido nitroso (N_2O).
- Hexafluoruro de azufre (SF_6).
- Perfluorocarbonos (PFC).
- Hidrofluorocarbonos (HFC).

De algunos gases precursores de GEI como:

- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Monóxido de carbono (CO).
- Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVDM).

Y de precursores de aerosoles:

- Dióxido de azufre (SO_2).

3.1 GENERALIDADES DEL SECTOR INDUSTRIAL

El sector industrial colombiano se localiza en los principales centros urbanos del país: Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena y Barranquilla. Para el seguimiento histórico del comportamiento de este sector se contó con la información sobre la estructura, características y evolución sectorial recopilada en la

Encuesta Anual Manufacturera (EAM), del DANE; de estudios nacionales y sectoriales de algunas cadenas productivas que realiza el Departamento Nacional de Planeación (DNP); además de información generada por entidades gremiales de sectores como el minero, cementero, plásticos, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) y otras instituciones de carácter nacional.

A continuación se exponen los principales indicadores del sector industrial colombiano.

3.1.1 Indicadores macroeconómicos

Luego de la crisis económica que se registró a finales de la década de los años 90, en la cual el Producto Interno Bruto del país registró una caída del 4,2%, se presenta una recuperación económica del país de forma paulatina y con distintos grados de dinamismo, permitiendo el mejoramiento de la capacidad industrial de las empresas y el aumento de la producción nacional. Los factores internos que incidieron en esta recuperación fueron: el incremento de la demanda interna, altos niveles de liquidez, bajas tasas de interés consistentes con las metas oficiales de inflación y una mayor confianza de los inversionistas. Entre los factores externos que han contribuido con este crecimiento están: la expansión de la demanda externa, el nivel favorable de los términos de intercambio y el aumento de flujos de capital, principalmente en inversión extranjera directa¹.

Cuadro 3.1. Industria, asentamientos humanos y sociedad

La vulnerabilidad de la industria, las infraestructuras, los asentamientos humanos y la sociedad frente al cambio climático es generalmente mayor en ciertos lugares con mayores riesgos, sobre todo en la zonas costeras y ribereñas, las cuales están más propensas a fenómenos meteorológicos extremos, y en zonas cuyas economías están estrechamente vinculadas con recursos susceptibles al clima, tales como las industrias agrícolas y de productos forestales, las que dependen del agua y del turismo. Por ejemplo, el aumento de la urbanización en la mayoría de los países con ingresos bajos y medios, a menudo en zonas de alto riesgo relativo, pone en riesgo a una mayor proporción de sus economías y poblaciones.

Para revisar los conceptos de riesgo y vulnerabilidad, se puede dirigir al capítulo 7, del módulo de Incertidumbre.

Fuente: IPCC. 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, R.U.: Parry, O., et al. 2007. p. 53.

Asimismo, se registran cambios en la composición sectorial del PIB: la industria pasó de representar el 25% del PIB en años los setenta, al 15,5% del PIB en el 2005; por su parte, el sector de servicios cambió de menos del 50% en los años setenta a cerca del 65% del PIB en el 2005. El sector primario, compuesto por las actividades agropecuarias y la minería, también redujo su participación, que cayó en el mismo periodo en cerca de 10%.

Los comportamientos generales de la economía se reflejan en la dinámica sectorial. En este sentido, desde el año 2000 el crecimiento de la construcción, el comercio, el transporte y el sector industrial, muestran su recuperación en relación con las décadas anteriores. La producción industrial para el segundo trimestre de 2004 tuvo una participación del 14,7% dentro del PIB total, mientras para el 2006 esta participación fue del 15,04%, corroborando su importancia en la economía del país.

Para el 2006, los sectores que crecieron por encima del PIB total fueron: construcción (17,61%), comercio (9,83%), transporte y comunicaciones (9,25%) e industria manufacturera (9,14%). A su vez, los sectores que crecieron por debajo del PIB total fueron: electricidad, gas y agua (2,45%), agropecuario, silvicultura, caza y pesca (2,19%), servicios sociales, comunales y personales (2,05%), explotación de minas y canteras (0,65%) y establecimientos financieros (0,59%)².

¹ COLOMBIA. Departamento Nacional de Planeación. Visión Colombia. II Centenario: 2019, Bogotá: 2005.

² COLOMBIA. Departamento Nacional de Planeación. Balance macroeconómico, presupuesto y plan financiero para 2007, Documento Conpes 3450. Bogotá: DNP, diciembre de 2006.

3.1.2 Análisis sectoriales

A continuación se presentan las principales características e indicadores de los subsectores industriales de interés para la estimación del inventario de GEI del módulo de procesos industriales, los cuales son definidos de acuerdo con las metodologías propuestas por el IPCC.

Foto 3.3. Vista del centro de Bogotá, 2009



Foto: Mauricio Cabrera Leal - 2009

3.1.2.1 Producción de minerales no metálicos

Esta categoría comprende principalmente la producción de clínker³, cemento, cal y vidrio. Con respecto a la industria del cemento se encuentra una relación directa con la actividad de la construcción, tanto de vivienda como de infraestructura; por lo tanto, es un subsector estratégico para la industria⁴. La capacidad de producción anual instalada en el país se estima en alrededor de 15 millones de toneladas en 18 plantas de producción, de las cuales 16 producen clínker y 2 son exclusivas para el proceso de molienda de cemento. El aporte al PIB para el año 2005 fue de alrededor del 0,4%, generando empleo en actores de la cadena como la minería, el transporte y el comercio de los materiales de construcción⁵.

La producción de cal se localiza principalmente en los departamentos de Boyacá, Huila y Santander, y está orientada hacia el mercado interno; se cuenta con 13 grandes empresas, además de pequeñas empresas y economías familiares.

La industria del vidrio se relaciona directamente con actividades como la construcción, el sector automotriz⁶, de alimentos (conservas, jugos, gaseosas, cervezas), farmacéutico y de vidrio decorativo⁷. Esta industria está altamente concentrada, en particular en la producción de envases y vidrio plano⁸. La producción del sector presentó un crecimiento moderado, generado principalmente por la dinámica del sector de bebidas que absorbe la mayor parte de la producción de envases.

3 El clínker es el producto de la cocción a altas temperaturas de carbonados, silicatos, óxidos de hierro y de alúmina, que al ser molido finalmente en conjunto con otros materiales genera cementos Pórtland, especiales y blanco. (Guía minero ambiental de la industria del cemento).

4 DNP, 2002.

5 Instituto Colombiano del Cemento (ICPC).

6 Asociación Nacional de Instituciones Financieras, ANIF.

7 Bancoldex, Resumen sectorial productos de vidrio 2005.

3.1.2.2 Producción de químicos

En relación con la producción de químicos, el módulo incluye la industria química, compuesta por productos de refinería (oleofinas y resinas) y ácidos. Para las estadísticas colombianas este sector se divide en tres sectores: producción de plásticos, farmacéuticos y de otros productos químicos básicos.

En Colombia, la fabricación de derivados del petróleo representa el 11,23% de la producción bruta nacional, convirtiéndose en uno de los renglones económicos de mayor importancia; asimismo, aporta el 11,61% de los activos en la producción⁹. La producción de químicos derivados del petróleo tiene como proceso principal obtener productos no energéticos, tales como negro de humo, cloruro de polivinilo, polietileno de baja densidad, formaldehído, poliestireno, polipropileno y anhídrido ftálico.

Existen 22 empresas asociadas con la producción de químicos relacionados con el amoníaco, ácido nítrico y explosivos; en industrias orgánicas, de colorantes y plásticos (nylon y poliuretanos). La fabricación de amoníaco no ocasiona vertidos líquidos, sin embargo, es un proceso con alto consumo energético, que usualmente realiza la recuperación y el empleo eficiente del calor liberado.

La producción de ácido nítrico se realiza principalmente en Abocol S.A., que para el 2007 contó con una capacidad instalada de 210.000 toneladas. La producción de ácido nítrico tuvo un amplio incremento en el año 2003.

La producción de otros químicos cuenta con un alto número de Pequeñas y Medianas Empresas (Pymes), algunas con tecnologías de punta, encontrándose la posibilidad para que algunos de los pequeños productores mejoren sus procesos productivos los que relacionan impactos tanto ambientales como sociales.

3.1.2.3 Producción de metales

Las actividades en la categoría de producción de metales comprenden: la industria siderúrgica (producción de hierro y acero), la producción de aluminio, la producción de algunos metales no ferrosos y las ferroaleaciones. El volumen de producción de la cadena siderúrgica colombiana es pequeño comparado con los productores a nivel mundial, sin embargo, junto con la actividad de la metalmeccánica son un soporte importante para la industria en el país¹⁰. La industria de partes automotores sobresale como uno de los grandes consumidores de la cadena de industrias del hierro y el acero.

En el departamento de Boyacá se ubican los principales yacimientos de hierro en el país, explotados por una única siderúrgica integrada, Acerías Paz del Río; véase el mapa de Colombia. Estas siderúrgicas autoconsumen la totalidad de su producción de hierro primario sin generar exportaciones, la producción de hierro primario -arrabio para el año 2004 y 2005 fue de 330,752 y 341,259 toneladas respectivamente, con un porcentaje de variación del 8%, y el consumo nacional aparente¹¹ para este mismo periodo fue de 330,865 toneladas en el 2004 y 358,022 toneladas en el 2005¹².

Las otras siderurgias productoras de acero son de tipo semintegrado: Aceros Diaco, Aceros Sogamoso, Acería de Caldas S.A. (Acasa), Siderúrgica Nacional (Sideral) y Siderúrgica de Occidente (Sidocsa). Las

8 La Industria del vidrio. Gerencia y Empresa. Revista Virtual Pro num. 69 On-line p. 25. noviembre 2007.

9 Datos de la fabricación de productos de la refinación del petróleo de la Encuesta Anual Manufacturera del DANE 2005. La producción bruta nacional no incluye impuestos indirectos. Los datos de los activos en la producción fueron reevaluados a diciembre de 2005.

10 Estado del Sector Siderúrgico en Colombia, año 2003. Díaz, M. y Mateus, L. Universidad de los Andes.

11 El consumo aparente se define como el volumen total de entregas netas de un producto, efectuadas en un país o región, durante un periodo de tiempo determinado.

12 La Industrial del acero en Colombia. Comité siderúrgico colombiano, 2005. p. 70.

transformadoras reciben como materia prima productos intermedios y mediante procesos de laminación y/o galvanización, los transforman en formas finales como lámina *cold rolled*¹³, lámina galvanizada, cubiertas y estructuras. Dentro de este grupo de empresas transformadoras se encuentran Acesco, Corpacero y Holasa.

La producción de acero estimada en el mundo, durante el año 2003, fue de 932 millones de toneladas, mientras que en Colombia fue de 745.000 toneladas. Durante el año 2002, la cadena siderúrgica colombiana no fue ajena a la desaceleración del sector en el ámbito mundial. En este año la producción tuvo un decrecimiento de 3.8 % respecto al año 2001. En el año 2003, el sector presentó una recuperación con un crecimiento de aproximadamente 10.7, % respecto al año 2002, esto se debe en parte a la recuperación que ha tenido la industria de la construcción¹⁴.

En relación con el aluminio, las industrias inician los procesos a partir del tratamiento del aluminio importado y/o recuperación del metal usado (chatarra), es decir, son industrias semi-integradas. Aunque existen algunas minas que pueden suministrar mineral base para el proceso de producción de aluminio, estas empresas son pequeñas, muy diseminadas y con tecnologías artesanales.

Teniendo en cuenta lo diagnosticado por la ANDI en el año 2006, en Colombia no existen industrias dedicadas a la fabricación de ferroaleaciones (ferrosilicio, ferromanganeso, ferrocromo, metal de silicio), sólo existe una planta que extrae el mineral de níquel para la producción de ferroníquel, la cual se exporta en su totalidad, siendo la única aleación que se produce en el país¹⁵. La capacidad de producción es de 50.000 toneladas anuales del mineral de níquel contenido en el ferroníquel¹⁶.

3.1.2.4 Producción de bebidas

En el subsector de producción de bebidas, desde el punto de vista de la producción, el eslabón que mayor valor de producción aporta a la cadena es la cerveza con el 67%, y le sigue en importancia los licores, con el 22% de la producción total de la cadena¹⁷.

La producción de cerveza y bebidas alcohólicas representó el 3,66% de la producción industrial y el 1,5% del empleo generado en la industria manufacturera en el 2001. Con base en la información recopilada a partir de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del DANE, estas participaciones se redujeron levemente para el 2003, indicando una tasa de crecimiento sectorial inferior a la industrial.

La participación para 2003 fue de 3,39% en la producción y 1,38% en el empleo¹⁸. Para el año 2004 la producción de malta y cebada representa un aporte en exportaciones para la cadena de bebidas alcohólicas del 45,66%, le siguen los licores con un 35,63% y la cerveza y sus mezclas con un 13,74%.

En cuanto a las importaciones, el subsector de mayor importancia es el de licores con un 39,83% seguido de los alcoholes con 19,39% de participación¹⁹. Para el 2005, la producción bruta de bebidas alcohólicas fue de 5,65% sobre el total nacional y el total de los activos fue de 7,28%²⁰.

13 Este tipo de lámina debe su nombre al procesamiento en frío.

14 Estado del sector siderúrgico en Colombia, año 2003. Díaz M. y Mateus, L. Universidad de los Andes.

15 Comité Siderúrgico Colombiano, La industrial del acero en Colombia. 2005.

16 Econometría consultores, principales contribuciones de Cerro Matoso S.A. al mejoramiento de las condiciones de vida en su área de influencia.

17 Departamento Nacional de Planeación 2003.

18 Adaptado de la página web: www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DDE_Desarrollo_Emp_Industria/Cerveza.pdf. DNP, Cadena de cerveza, malta y licores.

19 Variables de la cadena de cerveza, malta y licores, 2004. Producción y empleo, EAM-DANE. Importaciones y exportaciones, DIAN-DANE.

20 Datos de la elaboración de bebidas de la Encuesta Anual Manufacturera del DANE 2005. La producción bruta nacional no incluye impuestos indirectos. Los datos de los activos en la producción fueron reevaluados a diciembre de 2005.

3.1.2.5 Producción de alimentos

Cuadro 3.2. Alimentos, fibras y productos forestales

En regiones de latitudes medias a altas, un calentamiento moderado beneficia a los cultivos de cereales y a la producción de pastizales, pero incluso un calentamiento ligero disminuye la producción en regiones estacionalmente secas y tropicales. El aumento del calentamiento tiene efectos sumamente negativos en todas las regiones. Las adaptaciones a corto plazo podrían evitar una reducción del 10% al 15% de la producción.

Adicionalmente, los cambios proyectados en la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, unidos al aumento de riesgos de incendios, plagas y brotes de enfermedades, tendrán consecuencias considerables en la producción alimentaria y forestal, y en la inseguridad alimentaria, además de los impactos del clima medio proyectados.

Fuente: IPCC. 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, R.U.: Parry, O., et al. 2007. p. 51.

La producción de alimentos contribuye de manera significativa en el producto nacional, contando con un número de establecimientos que para el año 2005 alcanzó el 15,36% del total nacional y el 17,82 % de la producción bruta²¹. Asimismo, se destaca la participación de los productos de panadería, la elaboración de productos de café y la producción de los ingenios y refineries de azúcar.

3.1.2.6 Producción de pulpa de papel

Colombia es el quinto productor de pulpa, papel y cartón en Latinoamérica, con alrededor del 0,24 % de la producción mundial²². Dentro del módulo de procesos industriales es de especial interés el blanqueado de la pulpa, por el uso de sustancias químicas con base en compuestos químicos de azufre. La industria del papel está concentrada en

pocas empresas con elevadas economías a escala e intensivas en capital; sobresalen por su nivel de activos: Cartón Colombia, Colombiana Kimberly, Propal, Productos Familia, Cartones América y Papeles Nacionales, entre otras²³.

3.1.2.7 Utilización de hexafluoruro de azufre (SF₆)

El hexafluoruro de azufre (SF₆) es una sustancia sintética que se usa principalmente en la producción de magnesio como agente modelador. En la producción de equipos eléctricos se emplea como agente aislante y extintor del arco eléctrico²⁴. Se debe tener en cuenta que en el cálculo de las emisiones de SF₆ dentro del Módulo de procesos industriales se priorizan las actividades mencionadas anteriormente. En Colombia, las empresas de distribución de energía eléctrica son las principales usuarias de este gas.

3.1.2.8 Utilización de sustitutos de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO)

Los principales sustitutos de SAO²⁵ utilizados por los proyectos manejados en la UTO²⁶ son el HFC 134a para sistemas de refrigeración, y los principales sectores en donde se han desarrollado proyectos de sustitución de SAO para refrigeración son el comercial y el de aparatos domésticos. Los sectores de refrigeración industrial en Colombia usan amoníaco y otros hidrocarburos para refrigeración y no se han realizado trabajos bajo el protocolo de Montreal en este campo.

Se ha establecido que en el país no se producen o destruyen HFC o PFC sin embargo, existe la utilización de sustitutos SAO en las actividades de aerosoles, solventes, refrigeración fija y móvil, extinción de incendios y factiblemente un uso incipiente en la fabricación de espumas.

²¹ Datos procesados por el IDEAM, con información de la EAM 2005 del DANE.

²² Departamento Nacional de Planeación, 2001.

²³ Departamento Nacional de Planeación, DNP Pulpa, papel e industria gráfica.

²⁴ La generación del arco se debe a la ionización del medio entre los contactos, haciéndolo conductor, lo que facilita la circulación de corriente. <http://zeus.dci.ubiobio.cl/~eleduc/capitulo1/interruptores.html>.

²⁵ Basado en la tesis de grado: «Inventario nacional de Hidrofluorocarbonos HFC y Perfluorocarbonos PFC como sustituto de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) de los años 2000 y 2004». Sánchez, G. P. (Tesis realizada en convenio con la UTO, para la categoría Sustitutos SAO para el Inventario Nacional de GEI, proyecto Segunda Comunicación Nacional, liderado por el IDEAM).

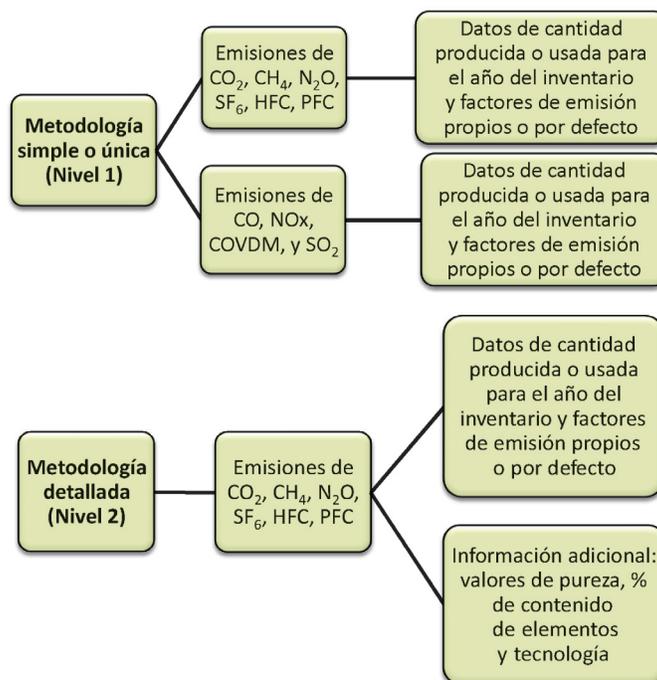
²⁶ La Unidad Técnica de Ozono (UTO) es la encargada de desarrollar proyectos y actividades para el cumplimiento del Protocolo de Montreal en Colombia.

3.2 CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO

De acuerdo con las metodologías propuestas por el IPCC, para la elaboración del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Módulo de procesos industriales, existen diferentes niveles metodológicos de acuerdo con su complejidad, los cuales son usados dependiendo de las capacidades técnicas, disponibilidad y calidad de información que posee cada país con miras a la estimación de sus emisiones.

Para el Módulo de procesos industriales se proponen dos niveles de detalle para el cálculo de las emisiones. El nivel uno, simple o único, en el que se toma la producción total nacional de cada una de las categorías de fuente con un único factor de emisión como base para el cálculo. Este factor de emisión puede ser calculado de acuerdo con las circunstancias nacionales o puede ser un factor de emisión establecido por el IPCC. El segundo nivel de detalle para el cálculo requiere, además del dato del volumen de producción total nacional de los productos pertinentes al inventario, la información de la caracterización de las materias primas (fracciones, % de pureza, relaciones estequiométricas, entre otros), 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. Este nivel de cálculo mejora la incertidumbre pero requiere una amplia consulta sectorial y de expertos; véase la Figura 3.1.

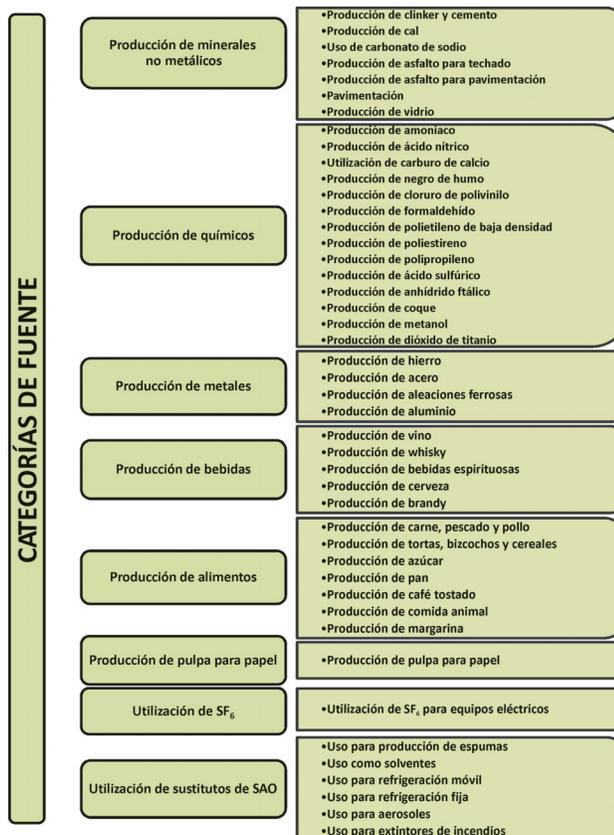
Figura 3.1. Metodologías para el cálculo de emisiones del Módulo de procesos industriales



Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

De igual manera, las guías del IPCC sugieren una amplia lista de procesos industriales como categorías de fuente de emisiones de GEI, por lo cual el análisis primario es determinar para el cálculo aquellas actividades industriales existentes en Colombia; véase la Figura 3.2. Cabe destacar que para el presente inventario se incluyeron las emisiones generadas por la utilización de SF₆ y sustitutos de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO), las cuales no se habían calculado para el inventario correspondiente a los años 1994 y 1990.

Figura 3.2. Categorías de fuentes de emisión en el módulo de procesos industriales



Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA EN EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI

El análisis de la información para el cálculo de emisiones del módulo parte de la descripción y revisión de las variables establecidas para cada categoría de procesos, evaluando la suficiencia y consistencia de la información obtenida contra la información solicitada y requerida para los cálculos con el fin de establecer los vacíos de información para la selección de factores de emisión y de producción desagregada a incluir en cada proceso. También se describen los procesos que requieren aclaración o ampliación de información.

Teniendo en cuenta la información suministrada por las diferentes fuentes de la información, se desarrolló una estrategia con las entidades participantes de la mesa técnica de trabajo. Para tal efecto, cuando la información allegada por las empresas productoras fue de un número menor que diez, se adelantaron encuestas directas para contar con información primaria o directa.

La mesa técnica para el módulo la constituyeron las siguientes entidades: Abonos Colombianos S.A. (Abocol), Acerías de Caldas S.A. (Acasa), Acerías Paz del Río, Asociación Colombiana de Productores de Plásticos (Acoplásticos), Argos, Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), Brinsa S.A., Cerromatoso S.A, Cales y Derivados de la Sierra S.A. (Caldesa), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol S.A.), Grupo Siderúrgico (DIACO S.A.), Instituto Colombiano de Productores de

Cemento (ICPC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) a través de la Unidad Técnica de Ozono (UTO), Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible y el Grupo de Mitigación de Cambio Climático, Ministerio de Comercio Exterior, Monómeros Colombo Venezolanos S.A., Siderúrgica de Occidente S.A. (SIDOC S.A.), Siderúrgica Nacional S.A. (Sidenal), Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

Posteriormente, se consolidó la información requerida mediante el levantamiento de la información secundaria, la revisión y el análisis de la información existente en el país, la cual se procesó según los requerimientos de cálculo. En esta etapa se atendieron las recomendaciones que proporcionan las directrices y la orientación de las buenas prácticas del IPCC.

Puesto que el sector industrial se organiza de acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), y con el objetivo de obtener una mayor desagregación en los datos por producto, se solicitó la información según la estructura de la CIIU, Revisión 2, a tres dígitos, con base en el protocolo de intercambio de información para la elaboración del inventario de GEI en el Módulo de procesos industriales (IDEAM, 2005) y en la guía metodológica para la elaboración del Módulo de procesos industriales en Colombia (IDEAM 2005); se destacan tres grupos de procesos que dependen tanto de las necesidades de información básica como de las características generales de los sectores industriales en el país.

El primer grupo de procesos, denominado procesos individuales, incluye a los principales emisores del módulo que tienen un número reducido de plantas en Colombia. El segundo grupo, procesos agremiables, incluye a los procesos industriales que tienen un número significativo de plantas, pero que cuenta con un gremio que representa el sector. El tercer grupo de categorías de fuente, procesos con un solo factor de emisión, incluye a los procesos cuya principal fuente de información es la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del DANE. Puesto que para el tercer grupo sólo se requieren las cantidades nacionales producidas y no existe la posibilidad de detallar más la información, se utilizaron los factores de emisión predefinidos por el IPCC.

Una vez se determinaron los procesos industriales existentes en Colombia, de acuerdo con el listado de procesos propuesto por el IPCC, se estableció el orden de importancia de la información necesaria para el cálculo y se determinó en cuál de los procesos se requería de un mayor esfuerzo para obtener y detallar la información. El método propuesto por el IPCC²⁷ consiste en establecer las denominadas categorías de fuente, que son aquellas que sumadas en orden descendente por su magnitud componen más del 95% del total acumulativo del porcentaje de contribución del inventario²⁸. De acuerdo con la situación de la industria nacional, se utilizaron criterios que permitieran reflejar la importancia de un proceso dentro del inventario de GEI, tales como el número de plantas en el país, el nivel de producción por planta y el número de empresas. El Anexo 3.1 muestra el resultado de esta priorización.

Sobre la base de la evaluación cualitativa de los procesos que hacen parte del módulo, junto con los criterios anteriores, se encontró que los procesos prioritarios coinciden por el mayor aporte de emisiones, según los datos del inventario de GEI de 1990 y 1994, así como la producción de clinker, cal, hierro y acero, amoníaco, ácido nítrico y las nuevas categorías con la utilización de hexafluoruro de azufre²⁹ y sustitutos de SAO³⁰.

Fue necesario identificar la existencia y realizar la recolección de la información de procesos que fueron incluidos en este inventario y que no habían sido tenidos en cuenta en el inventario anterior. Los procesos

27 El principal indicador para priorizar las inversiones y los esfuerzos en la elaboración de los inventarios está estandarizado en las Guías de las buenas prácticas del IPCC.

28 Guías de las buenas prácticas del IPCC, p. 7.1.

29 El hexafluoruro de azufre (SF₆) es una sustancia sintética, elaborada para la producción del magnesio como agente moldeador y para la producción de equipos eléctricos, como agente aislante y extintor del arco eléctrico. En Colombia no se produce la sustancia pero se importan productos que la contienen: equipos eléctricos utilizados en las actividades de transmisión y distribución de la energía eléctrica; en actividades que requieren equipos de alta tensión (interruptores de potencia y subestaciones encapsuladas). El magnesio no se procesa en el país, por lo tanto, no se cuantifican emisiones por esta fuente.

30 Los registros de importaciones y exportaciones desde el año 2000 y específicamente para 2006 han permitido identificar las sustancias que están ingresando al país: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a y PFC-218. Todo el trabajo relacionado con la UTO. Véase Anexo 3.2 al final de este capítulo.



como producción de aluminio, producción de hierro, producción de acero, el uso de hexafluoruro de azufre y de sustitutos de sustancia agotadoras de la capa de ozono (SAO), presentaron dificultades en el proceso de obtención de la información por la especificidad de los datos que se requieren.

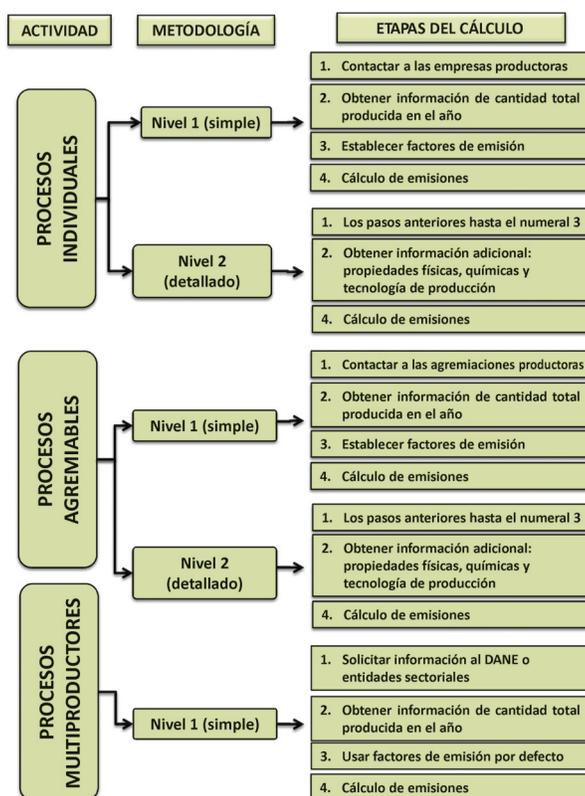
En el Anexo 3.1 se presenta el análisis de la información usada en el cálculo de las emisiones de GEI de las diferentes categorías del módulo de procesos industriales.

3.4 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Para este inventario de GEI se buscó incluir el mayor número de procesos, 47 en total, con el mejor nivel de detalle, lo cual se logró a través de la participación activa de las instituciones y el trabajo de expertos nacionales. Asimismo, se realizó la conformación de los grupos (tres para facilitar el manejo de la información) que permitió separar los procesos involucrados en el módulo sin tener en cuenta las categorías definidas en las directrices para la elaboración de inventarios de GEI del IPCC. Igualmente, esta clasificación consideró las características de los sectores de la industria, la disponibilidad de información y la representatividad institucional de las empresas en el sector público colombiano.

En la Figura 3.3 se describe la estructura del cálculo de las emisiones derivadas de procesos industriales para cada una de los procesos, así como el proceso del cálculo efectuado para estimar las emisiones de los GEI, sus precursores y aerosoles.

Figura 3.3. Estructura de cálculo Módulo procesos industriales por las metodologías de nivel 1 y 2.



Fuente: Protocolo de intercambio de información para la elaboración del inventario de GEI en el Módulo de procesos industriales (IDEAM, 2005)

En el Anexo 3.1 se presentan los métodos y formas de cálculo que se utilizaron para obtener los diferentes resultados.

3.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI

De acuerdo con las metodologías de cálculo expuestas en el Anexo 3.1, a continuación se consolidan los resultados en las tablas correspondientes de las emisiones de GEI, calculadas para los años 2000 (véase la Tabla 3.1) y 2004 (véase la Tabla 3.2), del Módulo de procesos industriales generados por cada categoría de fuente.

Tabla 3.1. Emisiones de GEI para el Módulo de procesos industriales - año 2000

Categoría	Subcategoría	Gases de Efecto Invernadero (Gg) año 2000											Gg CO ₂ eq	Participación dentro del Módulo %		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC					PFC		SF ₆				
					HFC 134a	HFC 125	HFC 143a	HFC 152a	HFC 32	HFC 23	CF ₄				C ₂ F ₆	
Emisiones totales del Módulo de procesos industriales en Gg del gas		5.871,51	0,89	1,1			0,002					0,20	0,030		7.343,99	
Producción de minerales no metálicos	Total producción de minerales no metálicos														3.263,05	44,43
	Producción de cemento y clínker	3.149,68													3.149,68	
	Producción de cal	60,92													60,92	
	Usos de carbonato de sodio	52,45													52,45	
	Producción de asfalto para techado															
	Producción de asfalto para pavimentación															
	Pavimentación															
Productos químicos	Total producción de químicos														482,701	6,57
	Producción de amoníaco	123,01													123,01	
	Producción de ácido nítrico			1,1											341	
	Usos de carburo de calcio	0,001													0,001	
	Producción de negro de humo		0,53												11,13	
	Producción de cloruro de polivinilo															
	Producción de formaldehído															
	Producción de polietileno baja densidad															
	Producción de poliestireno															
	Producción de polipropileno															
	Producción de ácido sulfúrico															
	Producción de anhídrido ftálico															
	Producción de coque		0,27												5,67	
	Producción de metanol		0,09												1,89	
Producción de dióxido de titanio																
Producción de metales	Total producción de metales														2.633,85	35,86
	Producción de hierro	1.027,20													1.027,2	
	Producción de acero	1.056,00													1056	
	Producción de aleaciones ferrosas	385,97													385,97	
	Producción de aluminio	16,28										0,02	0,002		164,68	

Continúa



Continuación

Categoría	Subcategoría	Gases de Efecto Invernadero (Gg) año 2000												Gg CO ₂ eq	Participación dentro del Módulo %	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC						PFC		SF ₆			
					HFC 134a ¹	HFC 125	HFC 143a	HFC 152a	HFC 32	HFC 23	CF ₄	C ₂ F ₆				
Producción de bebidas	Total producción de bebidas															
	Producción de vino															
	Producción de whisky															
	Producción de bebidas espirituosas															
	Producción de cerveza															
	Producción de brandy															
Producción de alimentos	Total producción de alimentos															
	Producción de carne, pescado y pollo															
	Producción de tortas, bizcochos y cereales															
	Producción de azúcar															
	Producción de pan															
	Producción de café tostado															
	Producción de comida animal															
Producción de margarina																
Producción de pulpa para papel	Total producción de pulpa para papel															
Utilización de SF ₆	Total Utilización de SF ₆														717	9,76
	Uso de SF ₆ en equipos eléctricos													0,03	717	
Utilización de sustitutos de SAO	Total utilización de sustitutos de SAO														247,39	3,37
	Usos para producción de espumas															
	Usos como solventes				0,0003										0,39	
	Usos para refrigeración móvil				0,09										117	
	Usos para refrigeración Fija				0,09	0,001	0,002								127,4	
	Usos como aerosoles				0,002										2,6	
	Usos para extintores de incendios													0		

Fuente: Los autores, 2007

En la tabla 3.2 se presentan los resultados obtenidos del inventario para el año 2004.

Tabla 3.2. Emisiones de GEI para el Módulo de procesos industriales - año 2004

Categoría	Subcategoría	Gases de Efecto Invernadero (Gg) año 2004											Gg CO ₂ eq	Participación dentro del Módulo %	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC					PFC		SF ₆			
					HFC-134 ^a	HFC-125	HFC-143a	HFC-152a	HFC-32	HFC-23	CF ₄				C ₂ F ₆
Emisiones totales del Módulo de procesos industriales en Gg del gas		6.905,362	0,870	1,350	0,365	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000	0,070	0,010	0,030	9.179,61	
Producción de minerales no metálicos	Total producción de minerales no metálicos													3.505,93	38,19
	Producción de cemento y linker	3.345,480												3.345,48	36,44
	Producción de Cal	103,130												103,13	
	Usos de carbonato de sodio	57,320												57,32	
	Producción de asfalto para techado														
	Producción de asfalto para pavimentación														
	Pavimentación														
	Producción de vidrio														
Productos químicos	Total producción de químicos													600,79	6,54
	Producción de amoníaco	164,020												164,02	
	Producción de ácido nítrico			1,350										418,50	
	Usos de carburo de calcio	0,002												0,00	
	Producción de negro de humo		0,550											11,55	
	Producción de cloruro de polivinilo														
	Producción de formaldehído														
	Producción de polietileno baja densidad														
	Producción de poliestireno														
	Producción de polipropileno														
	Producción de ácido sulfúrico														
	Producción de anhídrido ftálico														
	Producción de coque		0,270											5,67	
	Producción de metanol		0,050											1,05	
	Producción de dióxido de titanio														

Continúa

Módulo de procesos industriales



Continuación

Categoría	Subcategoría	Gases de Efecto Invernadero (Gg) año 2004											Gg CO ₂ eq	Participación dentro del Módulo %		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC					PFC		SF ₆				
					HFC-134 ^a	HFC-125	HFC-143a	HFC-152a	HFC-32	HFC-23	CF ₄				C ₂ F ₆	
Producción de metales	Total producción de metales														3,782,41	41,20
	Producción de hierro	1,028,800													1,028,80	11,21
	Producción de acero	1,289,600													1,289,60	14,05
	Producción de aleaciones ferrosas	846,630													846,63	
	Producción de aluminio	70,380										0,070	0,010		617,38	
Producción de bebidas	Total Producción de bebidas															
	Producción de vino															
	Producción de whisky															
	Producción de bebidas espirtuosas															
	Producción de cerveza															
	Producción de brandy															
Producción de alimentos	Total producción de alimentos															
	Producción de carne, pescado y pollo															
	Producción de tortas, bizcochos y cereales															
	Producción de azúcar															
	Producción de pan															
	Producción de café tostado															
	Producción de comida animal															
	Producción de margarina															
Producción de pulpa para papel	Total producción de pulpa para papel															
Utilización de SF ₆	Total Utilización de SF₆														717,00	7,81
	Uso de SF ₆ en equipos eléctricos													0,030	717,00	
Utilización de sustitutos de SAO	Total utilización de sustitutos de SAO														573,48	6,25
	Usos para producción de espumas															
	Usos como solventes				0,001										1,30	
	Usos para refrigeración móvil				0,180										234,00	
	Usos para refrigeración fija				0,180	0,020	0,010	0,010	0,000						329,47	
	Usos como aerosoles				0,004										5,20	
	Usos para extintores de incendios									0,000				3,51		

Fuente: Los autores, 2007

3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

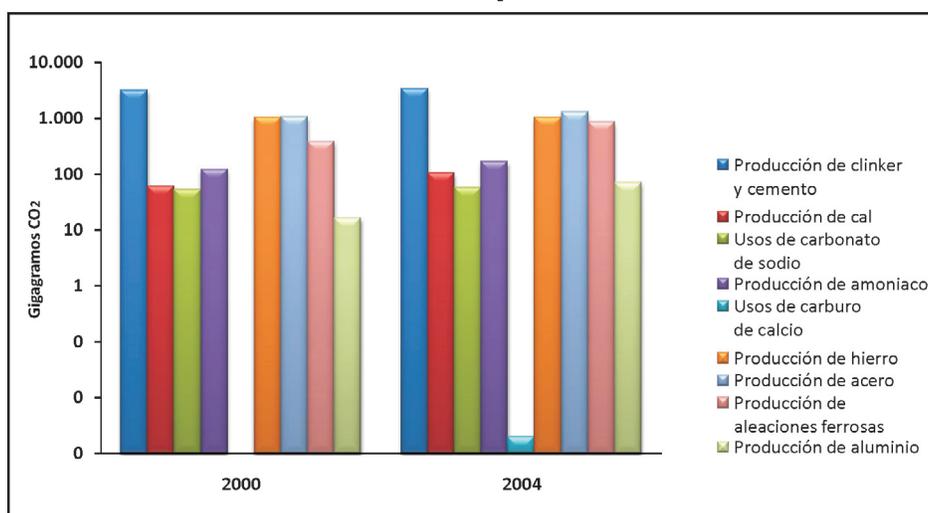
Con base en la información compilada y en las hojas de reporte, se presenta el análisis de las emisiones de GEI por categoría de fuente y por tipo de gas, así como el examen de la tendencia según los inventarios de emisiones de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004.

3.6.1 Resultados de las emisiones por tipo de gas para los años 2000 y 2004

3.6.1.1 Resultados de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

Las emisiones de CO₂ alcanzaron un total de 5.871,51 Gg para el año 2000 y de 6.905,36 Gg para el año 2004, lo que significa un incremento del 17,61% entre estos años. La mayor participación corresponde a la categoría de producción de minerales no metálicos, seguida por la categoría producción de metales. Los procesos productivos que aportan el mayor porcentaje de emisiones de CO₂ son clinker y cemento, acero, hierro y ferróníquel; véase la Figura 3.4.

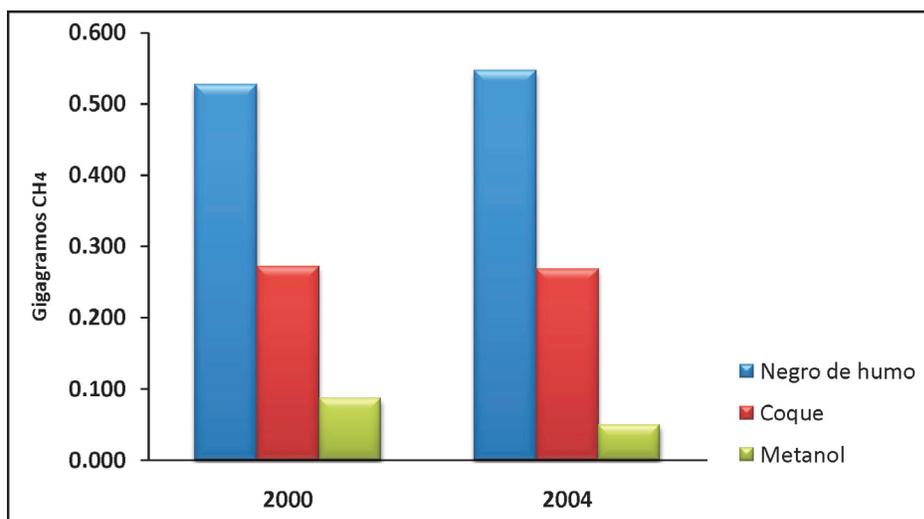
Figura 3.4. Emisiones de CO₂ por categoría de fuente



Fuente: Los autores, 2007.

3.6.1.2 Resultados de las emisiones de metano (CH₄)

Las emisiones de CH₄ son poco representativas en el Módulo de procesos industriales frente al inventario total y corresponden a 0,89 Gg y 0,87 Gg para los años 2000 y 2004, respectivamente. Los resultados muestran una reducción de las emisiones del 2,24% en el año 2004, originada fundamentalmente por la menor producción de metanol que implica menores emisiones de metano. El proceso con mayor aporte sobre el total fue la producción de negro de humo, lo cual se puede observar en la Figura 3.5.

Figura 3.5. Emisiones de CH₄ por categoría de fuente

Fuente: Los autores, 2007.

3.6.1.3 Resultados de las emisiones de óxido nitroso (N₂O)

El total de las emisiones de óxido nitroso (N₂O) se genera en la categoría de producción de químicos y, específicamente por la producción de ácido nítrico, con un total de 1,10 Gg para el año 2000 y 1,35 Gg para el año 2004, con un incremento del 22,72%, en relación con el año 2000.

3.6.1.4 Resultados de las emisiones de perfluorocarbonos (PFC)

Las emisiones de perfluorocarbonos (PFC) corresponden exclusivamente a la producción de aluminio para el cual se calculan las emisiones de tetrafluoruro de carbono (CF₄) y de hexafluoruro de etano (C₂F₆). Para el año 2009 se presentan incrementos sustanciales en relación con el año 2000 en las emisiones de CF₄ y C₂F₆, asociados con el crecimiento de la producción de Aluminio.

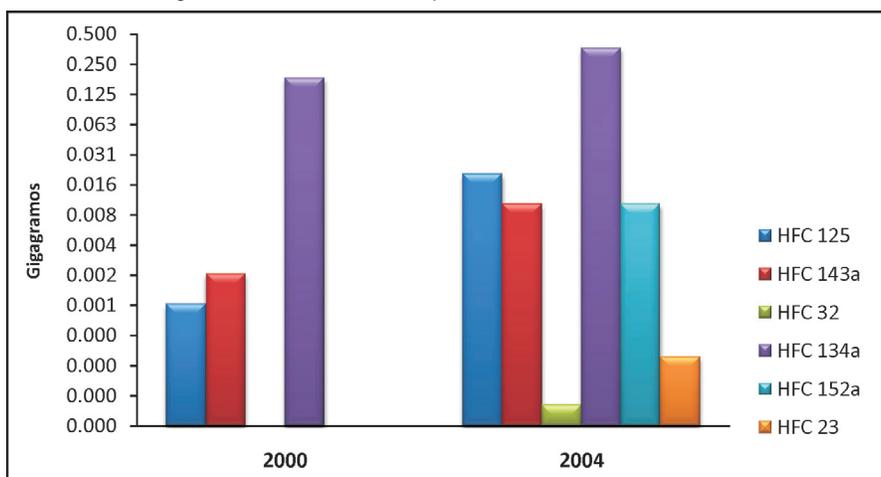
3.6.1.5 Resultados de las emisiones de hexafluoruro de azufre (SF₆)

Con la información obtenida sobre los usos de este gas, se estimaron 0,03 Gg de hexafluoruro de azufre (SF₆) para los años del inventario, con un ligero incremento, no significativo por el ajuste de unidades, para el 2004. Se resalta la carencia de información para realizar un cálculo más representativo, pero aun así, este resultado es un acercamiento al comportamiento de las emisiones de esta sustancia en el país.

3.6.1.6 Resultados de las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC)

Con respecto a los hidrofluorocarbonos (HFC) se encontró que en el año 2000 se usaron las siguientes sustancias: HFC-125, HFC-143a y HFC-134a; por su parte, en el año 2004, además a los anteriores, se consumieron: HFC-23, HFC-32 y HFC-152a. En el periodo 2000 - 2004 se evidencian importantes incrementos de las emisiones principalmente de HFC - 125 HFC - 1432 y de 134 a, esto se advierte en la Figura 3.6.

Figura 3.6. Emisiones de HFC por su uso como sustitutos de SAO



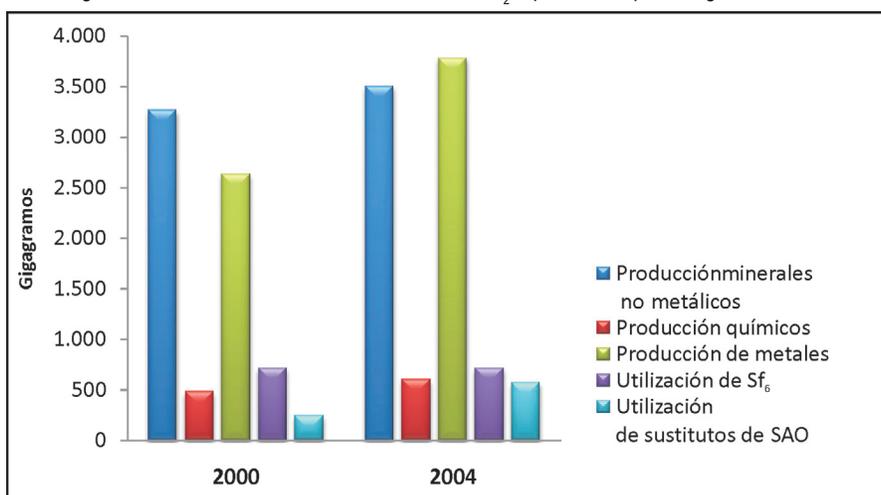
Fuente: Los autores, 2007.

3.6.2 Resultados de las emisiones de GEI por categoría de fuente

Este módulo contribuye al inventario total de GEI, con 7.343,99 Gg de CO₂ eq y 9.179,61 Gg de CO₂ eq para los años 2000 y 2004, respectivamente.

Las emisiones por los procesos industriales crecieron en un 24,9% en el año 2004 en relación con el 2000 guardando correspondencia con el crecimiento promedio del PIB industrial para el periodo 2000-2004, que fue del 15,05%³¹.

Figura 3.7. Emisiones de GEI en unidades de CO₂ equivalentes por categoría de fuente



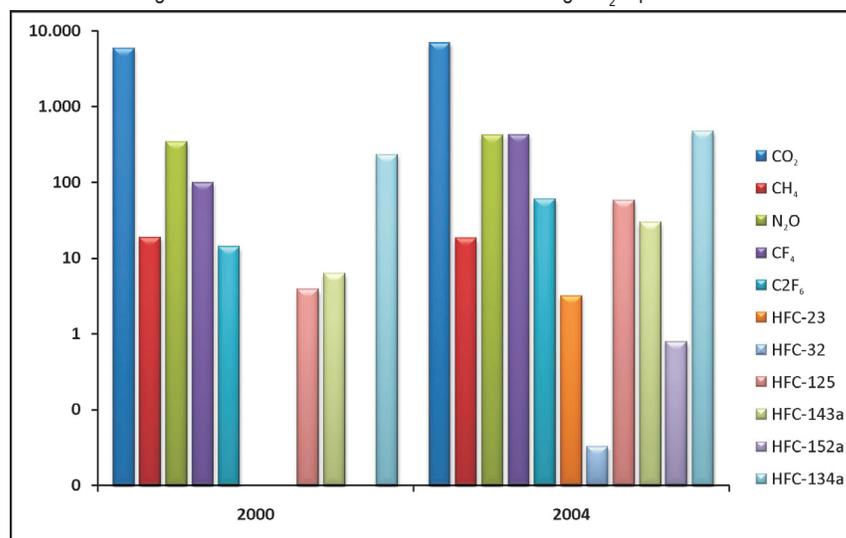
Fuente: Los autores, 2007.

31 Crecimiento del PIB anual Fuente: Banco de la República.

En el año 2004, la producción de metales generó la mayor cantidad de emisiones, calculadas en 3.782,41 Gg de CO₂ equivalente, representando un 41,2% del total de las emisiones de GEI, explicado este comportamiento por el aumento en la producción de acero y ferroniquel, véase la Figura 3.7.

Los sustitutos de SAO emitieron 573,48 Gg de CO₂ equivalente, atribuyéndose este comportamiento al incremento del uso de estas sustancias, debido a la efectividad de los programas de sustitución de gases del Protocolo de Montreal.

Figura 3.8. Emisiones de GEI en unidades de Gg CO₂ equivalentes



Fuente: Los autores, 2007.

Los resultados encontrados permiten destacar al dióxido de carbono (CO₂), como el GEI que más se emite por los procesos industriales para los dos años de cálculo. Sin embargo, el óxido nítrico (N₂O), el hexafluoruro de azufre (SF₆), los perfluorocarbonos (PFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC) mantienen su relevancia por sus potenciales de calentamiento global elevados y su vigencia en los diferentes sectores industriales (ver Figura 3.8). En concordancia con lo anterior, se desarrollan diversas gestiones en diferentes ámbitos, lo cual se amplía a través del Anexo 3.1, que trata de la importancia del Protocolo de Montreal en la reducción de gases efecto invernadero.

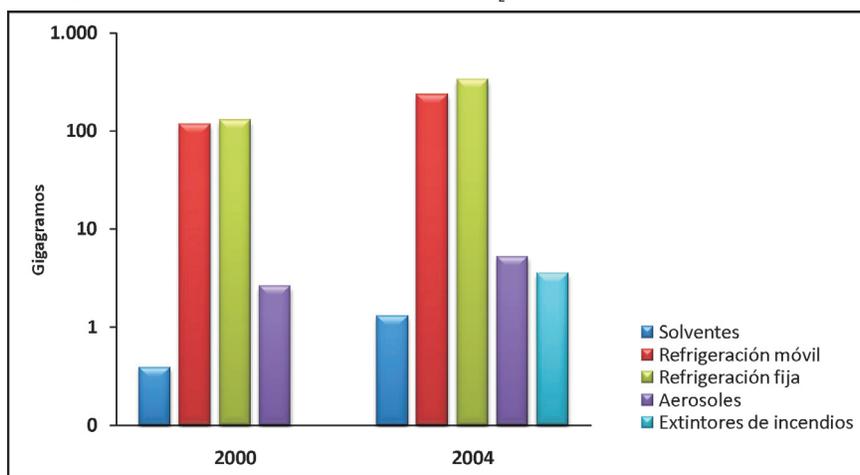
Las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) por tipo de empleo representan el 51,5% y el 57,45% del uso en los sistemas de refrigeración fija para los años del inventario. En segundo lugar se ubica el uso en los sistemas de refrigeración móvil con 47,29% y 40,8% para los años 2000 y 2004, respectivamente. Adicionalmente, se estableció el uso en solventes, aerosoles y extintores para incendio, en porcentajes inferiores al 1,05%. (ver Figura 3.9).

3.6.3 Resultados de las emisiones de precursores de GEI y aerosoles

3.6.3.1 Resultados de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)

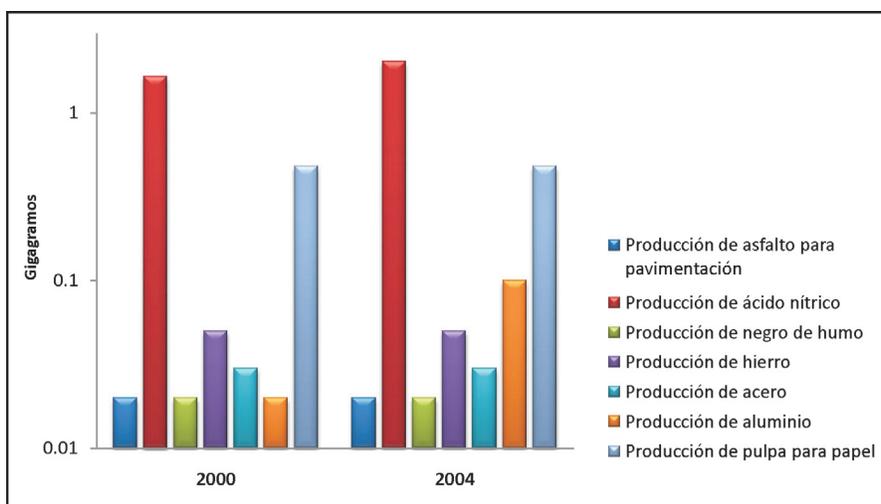
Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) totalizan 2,27 Gg y 2,72 Gg para los años 2000 y 2004, respectivamente, lo cual se traduce en un incremento del 19,8%. Los procesos que más aportan emisiones de NOx, son: la producción de ácido nítrico y la producción de pulpa para papel, tal como se puede ver en la Figura 3.10.

Figura 3.9. Emisiones de HFC en unidades de CO₂ equivalentes por categoría de fuente



Fuente. Unidad Técnica de Ozono (UTO) a partir de la base de datos BACEX.

Figura 3.10. Emisiones de NOx por categoría de fuente



Fuente: Los autores, 2007.

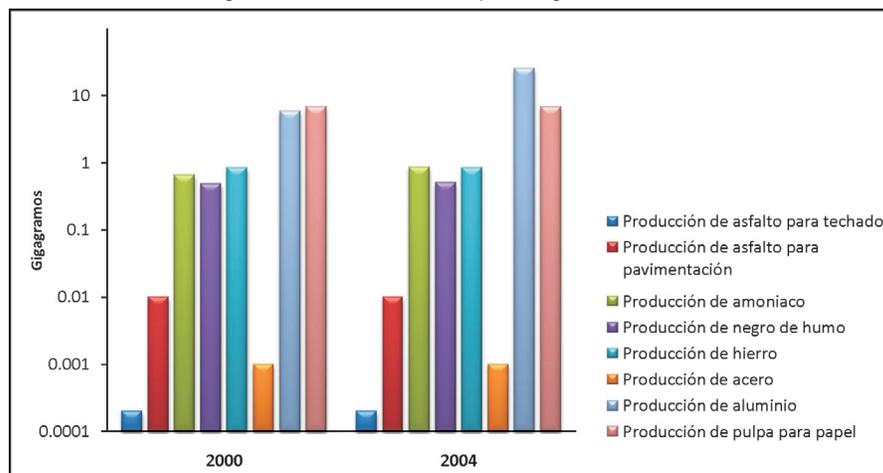
3.6.3.2 Resultados de las emisiones de monóxido de carbono (CO)

El cálculo total de emisiones de monóxido de carbono (CO) resultó en 14,42 Gg en el año 2000 y 34,04 Gg en el año 2004. Las categorías más representativas son: la producción de metales, específicamente el proceso de producción de aluminio seguido por el proceso de producción de pulpa para papel, (ver Figura 3.11).

3.6.3.3 Emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM)

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), corresponden a un total de 228,97 Gg en el año 2000 y de 90,41 Gg en el año 2004, mostrando en términos generales una disminución del 60,51%, en relación con el año 2000.

Figura 3.11. Emisiones de CO por categoría de fuente

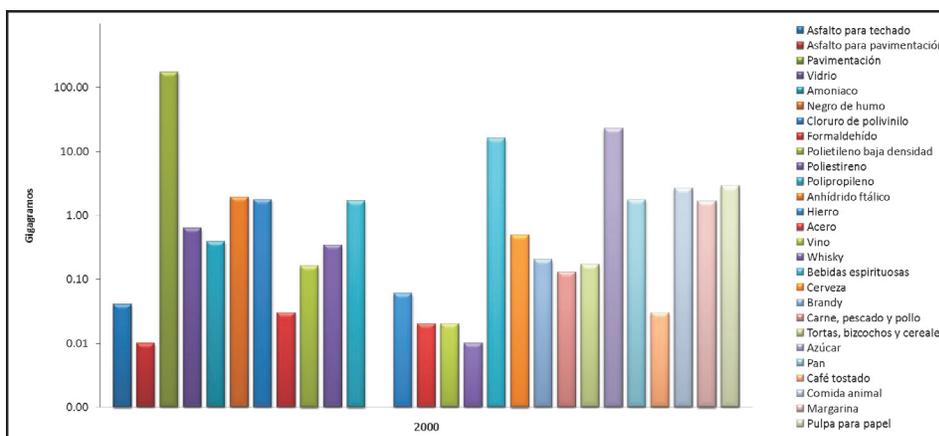


Fuente: Los autores, 2007.

No obstante lo anterior, y basados en que la pavimentación es un proceso que aporta significativamente en las emisiones de COVDM, se debe tener en cuenta los ajustes realizados en las metodologías de recopilación de la información, lo cual conduce a tener un menor número de kilómetros pavimentados para el 2004, y no por la disminución de la pavimentación de vías en el país. Los resultados obtenidos en el marco de tal salvedad, alcanzan: 173,28 Gg en el año 2000, y 29,52 Gg en el año 2004.

En un segundo lugar se encuentra el aporte de emisiones por la producción de azúcar, con el 9,89% y 27,81% en los años 2000 y 2004, respectivamente. Luego, se ubica la producción de bebidas espirituosas con un 7% y un 16,65% para los años 2000 y 2004, respectivamente. En la Figura 3.12 y Figura 3.13 se presentan las emisiones por categoría fuente.

Figura 3.12. Emisiones de COVDM por categoría de fuente, año 2000

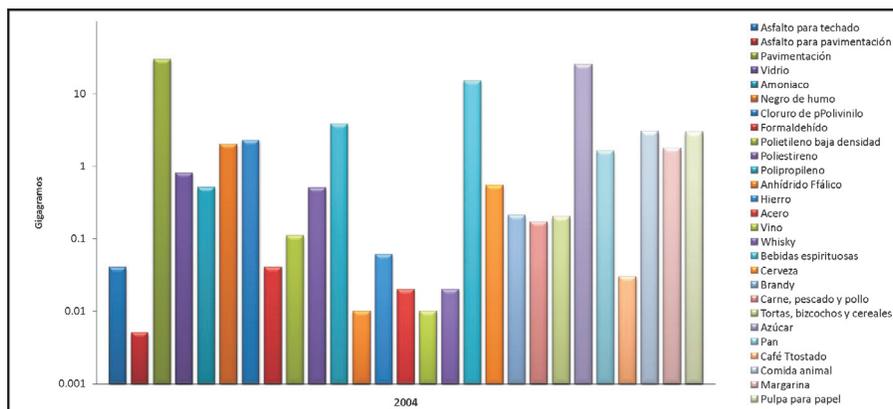


Fuente: Los autores, 2007.

3.6.3.4 Resultados de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂)

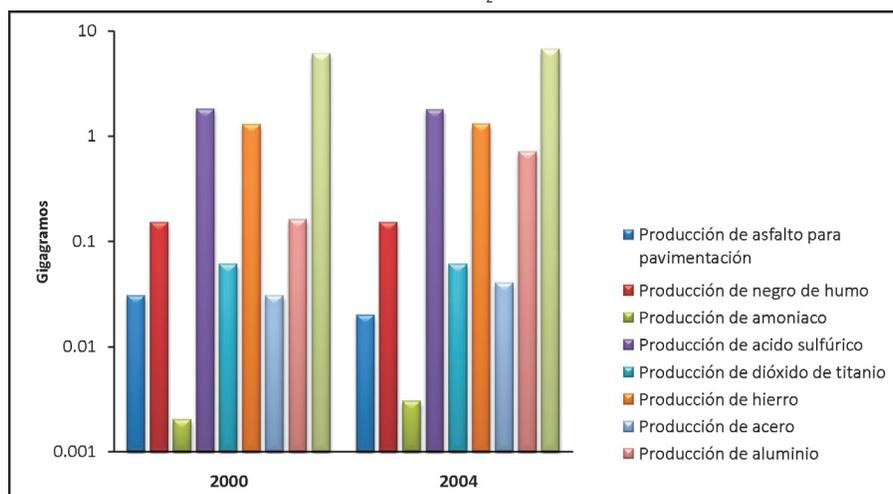
La categoría de producción de pulpa para papel es la actividad con mayor aporte de emisiones de dióxido de azufre (SO₂), le siguen en proporción la producción de ácido sulfúrico y de hierro. La actividad que registró en el año 2004 el mayor aumento fue la producción de aluminio, frente al año 2000. Véase la Figura 3.14.

Figura 3.13. Emisiones de COVDM por categoría de fuente, año 2004.



Fuente: Los autores, 2007.

Figura 3.14. Emisiones de SO₂ por categoría de fuente



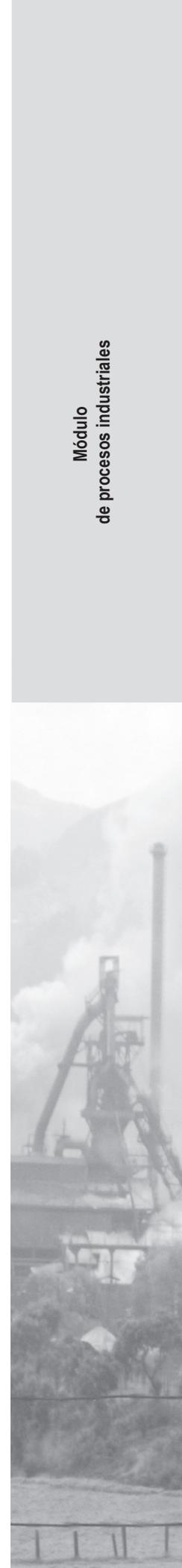
Fuente: Los autores, 2007.

3.6.4 Comportamiento de las emisiones de GEI, precursores de GEI y aerosoles, año 1990, 1994, 2000 y 2004

Con base en los resultados obtenidos a través de los cálculos realizados, se adelantó el análisis del comportamiento de las emisiones en el presente módulo para los años de inventario, haciendo la salvedad de que el inventario de los años 1990 y 1994 estimó las emisiones de 31 actividades productivas, en comparación con las 47 reportadas en el inventario actual (2000 y 2004), en el cual se mejoraron las metodologías de cálculo de las principales categorías de fuente del módulo.

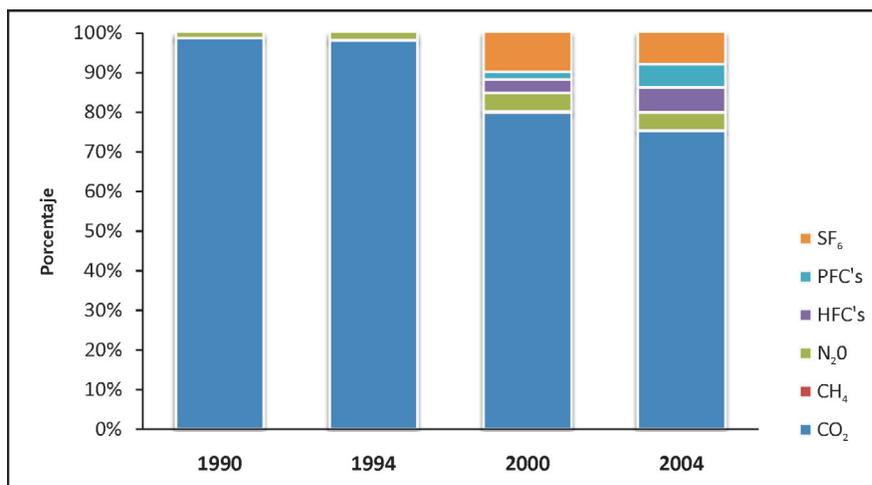
3.6.4.1 Tendencia y participación de las emisiones de GEI en unidades de CO₂ equivalentes

El inventario del año 1994 presenta un incremento del 10,46% del total de emisiones frente al año 1990. El inventario del 2004 contra el año 2000, muestra un incremento del 25%.



Las emisiones totales del Módulo de procesos industriales, en dióxido de carbono, CO_2 equivalente, para el periodo 1990-2004, muestran una tendencia claramente creciente, en razón a la inclusión de otros gases de efecto invernadero como son los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), además de la mejora en la calidad de la información y el avance en las metodologías utilizadas en el inventario 2000 y 2004. Véase la Figura 3.15.

Figura 3.15. Participación porcentual de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004



Fuente: Los autores, 2007.

La participación de las emisiones a través de los años inventariados, muestra la importancia que tienen los GEI no contabilizados en los inventarios 1990 y 1994. Para el año 2004, se tiene un aumento en la participación de las emisiones de perfluorocarbonos (PFC) por producción de aluminio y de hidrofluorocarbonos (HFC), y se disminuye la participación de las emisiones de hexafluoruro de azufre (SF_6); en razón a la disponibilidad de información, se parte de datos iguales para los dos años del inventario.

3.6.4.2 Tendencia de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2)

El aumento de las emisiones en el periodo 1990-1994 fue de 9,9%, mientras en el periodo 2000-2004 alcanzó un 17,6%. Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) se han incrementado el 45,5% para el año 2004, en relación con el año de 1990. Si bien la década del 1994-2004 muestra una mayor tendencia creciente con un 32,5%, frente al incremento presentado en la década 1990-2000 que fue de 23,8%.

No obstante lo anterior, la relación directa de tales incrementos puede tener origen por la inclusión en el cálculo de las emisiones de nuevos procesos, como usos de carbonato de sodio, producción de aluminio y producción de aleaciones ferrosas, que no se tomaron en cuenta en el primer periodo del inventario. Al respecto, se considera que la actividad más representativa para el 2004 fue la producción de aleaciones ferrosas, con una participación del dióxido de carbono (CO_2) del 12,26%. Adicionalmente, debe tenerse presente el contexto del comportamiento económico del sector industrial del país, el cual presentó una recuperación importante a partir del 2002.

3.6.4.3 Tendencia de las emisiones de metano (CH_4)

El metano en el Módulo de procesos industriales, tiene para los cuatro años analizados emisiones que no superan 1 Gg, por lo tanto, su contribución a los inventarios respectivos es insignificante.

Para los inventarios del 2000 y del 2004 se tuvieron en cuenta tres actividades productivas que generan metano: producción de negro de humo, coque y metanol. Para el inventario 1990 y 1994 se contabilizaron las emisiones por producción de negro de humo y estireno³².

3.6.4.4 Tendencia de las emisiones de óxido nitroso (N₂O)

En los cuatro años del inventario, las emisiones de óxido nitroso (N₂O) se originan únicamente por la producción de ácido nítrico. Para los años 2000 a 2004 se registra un incremento del 22,7%, en razón al incremento de 0,25 Gg de N₂O. Las emisiones totales individuales para los cuatro años son inferiores a 1,4 Gg.

3.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las categorías que más aportan dentro del Módulo de procesos industriales, en el año 2004, son la producción de metales (41,20% con respecto a la categoría) y la producción de minerales no metálicos (38,19%).

El mayor aporte de emisiones de CO₂ equivalentes, en la categoría producción de metales se encuentra en la producción de hierro y acero, actividades que en conjunto participan en un 25,26%, con respecto al módulo. En la categoría de producción de minerales no metálicos, la mayor proporción en la emisión de GEI se encuentra en la producción de cemento y clinker (36,4%), respecto al total del módulo. El resto del aporte se encuentra distribuido en la utilización de hexafluoruro de azufre (7,81%), y utilización de sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) con un aporte del 6,25%.

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 del 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 para cada año de inventario).

Con el fin de mejorar el nivel de certidumbre del cálculo de emisiones de GEI para el Módulo de procesos industriales, se recomiendan las siguientes actividades:

- Mejorar las sinergias, la consecución y la consolidación de la información en los gremios del país que agrupan los procesos incluidos en el módulo.
- Fortalecer y ajustar las estadísticas nacionales, de tal manera que sean consecuentes con el suministro de información sectorial.
- Mejorar y fortalecer los registros emitidos por el Ministerio de Comercio Exterior y la DIAN, para obtener información desagregada sobre el uso de sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) y hexafluoruro de azufre, (SF₆).
- Fortalecer la información estadística de las Cámaras Sectoriales de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, ANDI.
- Fortalecer las relaciones de las instituciones públicas con la empresa privada, con el fin de lograr mayor nivel de información.

BIBLIOGRAFÍA

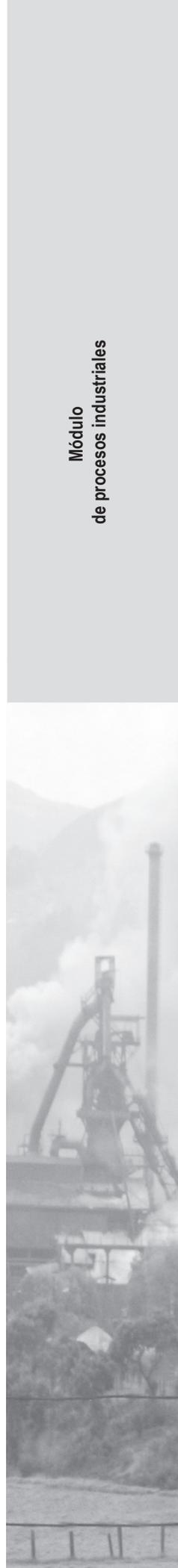
- ACOPLÁSTICOS. Guía plásticos en Colombia 2003-2004.
_____. Guía plásticos en Colombia 2006-2007.

³² La producción de estireno es una actividad inexistente para los años 2000 y 2004.



- _____. Perspectivas de la industria 2005.
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA. Comité siderúrgico colombiano & Cámara de Fedemetal. La Industria del acero en Colombia. Bogotá: ANDI. 2005
- _____. Centro de Estudios Económicos. Informe Indicadores de Coyuntura de Colombia. 2007.
- _____. Encuesta de competitividad. Centro de Estudios Económicos. 2007.
- _____. Cámara de Pulpa y Papel. Estadísticas de la industria del papel. 2007.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Programa de mejoramiento de la competitividad, Colombia. s/l: BID. 2006.
- COLOMBIA. BANCO DE LA REPÚBLICA. Reflexión personal del codirector del Banco de La República, Carlos Gustavo Cano, Sobre el estado de la economía y la moneda. Bogotá: El autor. 2007.
- MALAVAR, L., & VANEGAS, D. Formulación de un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio en el sector de refrigeración, a través de la implementación de hidrocarburos en los procesos de manufactura. Bogotá: 2006.
- CERROMATOSO S.A. Balance Social 2006. Bogotá: CMSA, 2006.
- COMMITTEE ON THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, NATIONAL RESEARCH COUNCIL . Climate change science: An analysis of some key questions. Washington, D.C.: National Academy Press. 2001.
- COLOMBIA. Instituto geográfico Agustín Codazzi. Mapa político administrativo de Colombia. IGAC, Atlas de Colombia, 1999. Bogotá: IGAC. Disponible en: http://ssiglapp.igac.gov.co/ssigl/mapas_de_colombia/galeria/IGAC/politicoseg.pdf
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Encuesta Anual Manufacturera. Bogotá: DANE. 2000.
- _____. Encuesta Anual Manufacturera 2004.
- _____. Innovación y desarrollo tecnológico en la industria manufacturera Colombia 2003-2004.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Cadena pulpa, papel e industria, cadena de cerveza, malta y licores, Cadena producción de bebidas, Cadena producción de cárnicos, Cadena de la molinería, Cadena de azúcar, chocolatería y confitería, Cadena café y té, Cadena oleaginosas, grasas y aceites, Cadena alimentos concentrados o Balanceados, Cadena del vidrio. Bogotá: DNP.
- _____. Documento Conpes 3280. Optimización de los instrumentos de desarrollo empresarial. 2004.
- _____. Documento Conpes 3439. Institucionalidad y principios rectores de la política para la competitividad y la productividad. 2006.
- _____. Informe al Congreso de la República de Colombia. Crecimiento económico sostenible y generación de empleo. 2006.
- DÍAZ, M. & MATEUS, L. Estado del sector siderúrgico en Colombia, año 2003. Universidad de los Andes. Bogotá: Uniandes. 2003.
- COLOMBIA. DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES DE COLOMBIA. Sistema estadístico de comercio exterior (SIEX). Bogotá: consultado en octubre de 2007. DIAN. Disponible en: <http://www.mincomercio.com.co>.
- DONALD, R. S. Strengthening the Montreal Protocol: insurance against abrupt Climate Change. Sustainable Development Law & Policy Publication, 16. 2007, March.
- ECONOMETRÍA CONSULTORES. Principales contribuciones de Cerro Matoso S.A. al mejoramiento de las condiciones de vida en su área de influencia. 2006.
- EIGHTH SESSION OF THE CONFERENCE OF THE PARTIES COP#8. Improvement of the guidelines for the preparation of non-Annex I national communications. Recuperado en Noviembre 7, 2007, The eighth session of the conference of the parties and the seventeenth sessions of the subsidiary bodies: <http://unfccc.int/cop8/index.html>. 2002.

- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN - E.S.P. Informe Ambiental 2006. Medellín: EPM - ESP. 2006.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ozone depletion glossary. Consultado en agosto 23 de 2007, Disponible en: <http://www.epa.gov/ozone/defns.html>.
- _____. Programa Sunwise. Recuperado en Agosto 21, 2007, de U.S. Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/sunwise1/es/ninos/ozone.html>. 2005.
- EUROPEAN FLUOROCARBONS TECHNICAL COMMITTEE (EFCTC), (n.d.). HFCs. Consultado en agosto de 2007, from Fluorocarbons and Sulphur Hexafluoride: <http://www.fluorocarbons.org/>
- FICHER, M. La capa de ozono. Madrid: McGraw Hill. 2003.
- GIRALDO R. A. Aglomeración del empleo manufacturero para las principales áreas industriales de Colombia 1998 - 2001. Tesis Magíster en Economía. Facultad de Economía. Universidad de los Andes, 2005.
- INSTITUTO COLOMBIANO DEL CEMENTO. Guía minero ambiental de la industria del cemento. Bogotá: ICPC, 2003.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá: IDEAM. 2001.
- _____. Estrategias de reducción de incertidumbre de las variables básicas en la estimación de gases de efecto invernadero (GEI). Bogotá: IDEAM, 2006.
- _____. Programa nacional de medición de la columna de ozono. Seguimiento del ozono total en Colombia. Bogotá: IDEAM: Disponible en: http://www.ideam.gov.co/sectores/ozono/programa_nal.htm.
- IDEAM, UTO & UNIVERSIDAD DEL BOSQUE, SÁNCHEZ, G. P. Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC) y Perfluorocarbonos (PFC) como sustitutos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) para los años 2000 y 2004. Tesis realizada en convenio para la categoría de sustitutos de SAO para el Inventario Nacional de GEI, proyecto Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá, 2007.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), Revised 1996 IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol 3. Reference Manual. Industrial Processes. 1996.
- _____. Cambio Climático 2001. Resumen Técnico del Grupo de Trabajo I del IPCC. 2001.
- _____. Orientación del IPCC sobre buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2001.
- IPCC & GRUPO DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA (GETE). La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. 2005.
- IPCC, WMO & UNEP. Cuarto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo I. Cambio climático 2007. Base de ciencia física. 2007.
- IPCC. 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, R.U.: Parry, O., et al. 2007. p. 51 y 53.
- MÉXICO. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero, México. 2002.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO TERRITORIAL. La cadena de la carne bovina en Colombia: Observatorio de agrocadenas en Colombia. Bogotá: El autor. 2005.
- _____. La cadena del café en Colombia. Observatorio de agrocadenas en Colombia. 2005.
- COLOMBIA. UNIDAD TÉCNICA OZONO Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. Diagnóstico del sector de refrigeración en Colombia. Bogotá: Los autores. 2004.



- _____. Resolución 528 del 16 de junio de 1997, por la cual se prohíbe la producción de refrigeradores, congeladores y combinación de refrigerador - congelador, de uso doméstico, que contengan o requieran para su producción u operación clorofluorocarbonos (CFC), y se fijan requisitos para la importación de los mismos.
- _____. Generalidades. Destrucción de la capa de ozono. Consultado en agosto, 2007, de MAVDT: <http://www.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/ozono/generalidades.htm>.
- MAVDT & PNUD. Programa país actualizado y plan de eliminación para las sustancias del Anexo II. Bogotá: Los autores. 2004.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO. Base de datos de comercio exterior (BACEX). Consultado: 25 - 28 septiembre de 2007, disponible en: <http://www.mincomercio.gov.co/eContent/NewsDetail.asp?ID=525&IDCompany=1>.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99 de 1993. Bogotá: El autor.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Caracterización del transporte en Colombia. Diagnóstico y proyectos de transporte e infraestructura. Oficina de planeación. 2005
- NATIONAL ACADEMY PRESS (NAP). Ozone Depletion, Greenhouse Gases, and Climate Change. Recuperado en agosto 23, 2007, de National academy press. Disponible en: http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=1193#toc.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL Y PNUMA. La producción de la capa de ozono y el sistema climático mundial. IPCC/GETE. 2005.
- PROEXPORT COLOMBIA Y BANCO DE LA REPÚBLICA. Colombia, un vistazo a la economía, segundo semestre de 2006. 2006.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). El Cambio Climático en América Latina y el Caribe. 2006.
- _____. Soluciones favorables tanto para el clima como para la capa de ozono. 2006.
- MÉXICO. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002 (Primera ed.). México. 2006.
- COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Determinación de la eficiencia energética del subsector industrial de hierro, acero y metales no ferrosos. Bogotá: UPME, 2001
- _____. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1999-2005.
- _____. Boletín Estadístico de Minas y Energía 2002-2007.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP). Aerosol sector conversion in action. México: UNEP IE Ozonation Programme. 1995.
- _____. Eliminating Dependency on halons. 1999.
- _____. Foams. In: UNEP, Protecting the Ozone Layer (Vol. IV, p. 32). #2001.
- _____. Solvents, coatings and adhesives. In: UNEP, Protecting the ozone layer (Vol. II, p. 40). 2001.
- _____. Reports of the Aerosols, sterilants, miscellaneous uses and carbon tetrachloride technical Options Committee. 2002.
- _____. Extract from the scientific assessment panel report. Twenty questions and answers about the ozone layer: UNEP. 2006.
- COLOMBIA. UNIDAD TÉCNICA OZONO. Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia Proteger la capa de ozono es proteger la vida. Bogotá: UTO, 2006.
- _____. Efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/ozono/efectos1.htm>
- _____. Mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, y la certificación por competencias laborales. Bogotá: UTO, 2007.

ANEXO

	Página
ANEXO 3.1 CÁLCULO DE EMISIONES PARA EL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES	149
3.1 EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE MINERALES NO METÁLICOS	149
3.1.1 Producción de clinker y cemento	149
3.1.2 Producción de cal viva y cal dolomita	15
3.1.3 Producción y uso de carbonato de sodio	151
3.1.4 Producción de asfalto para techado	152
3.1.5 Producción de asfalto para pavimentación	152
3.1.6 Producción de vidrio	153
3.2 EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE QUÍMICOS	154
3.2.1 Producción de amoníaco	154
3.2.2 Producción de ácido nítrico	154
3.2.3 Utilización de carburo de otros químicos	155
3.3 EMISIONES DE GEI POR PRODUCCIÓN DE METALES	156
3.4 EMISIONES DE GEI POR OTRA PRODUCCIÓN (bebidas, alimentos y pulpa para papel)	157
3.4.1 Emisiones de GEI por producción de bebidas	157
3.4.2 Emisiones de GEI por producción de alimentos	158
3.4.3 Emisiones de GEI por producción de pulpa para papel	158
3.5 EMISIONES DE GEI POR LA UTILIZACIÓN DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆)	159
3.6 EMISIONES DE GEI POR LA UTILIZACIÓN DE SUSTITUTOS DE SAO	160
3.7 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI	161
3.7.1 Cálculo de la categoría producción de minerales no metálicos	161
3.7.2 Cálculo de la categoría producción de químicos	164
3.7.3 Cálculo de la categoría producción de metales	166
3.7.4 Cálculo de otra producción (bebidas, alimentos y pulpa para papel)	167
3.7.5 Cálculo categoría utilización de hexafluoruro de azufre (SF ₆)	169
3.7.6 Cálculo categoría utilización de sustitutos de las SAO	169
ANEXO 3.2 CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN INFORMACIÓN MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES	170
ANEXO 3.3 IMPORTANCIA DEL PROTOCOLO DE MONTREAL EN LA REDUCCIÓN DE GEI ...	171



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla A3.1. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de clínker y cemento	150
Tabla A3.2. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de cal	151
Tabla A3.3. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción y uso de carbonato de sodio	151
Tabla A3.4. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de asfalto para techado	152
Tabla A3.5. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de asfalto para pavimentación	153
Tabla A3.6. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por proceso de pavimentación	153
Tabla A3.7. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de vidrio	154
Tabla A3.8. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de amoníaco	154
Tabla A3.9. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de ácido nítrico	155
Tabla A3.10. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de otros químicos	156
Tabla A3.11. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de metales	157
Tabla A3.12. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de bebidas	158
Tabla A3.13. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de alimentos	159
Tabla A3.14. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de pulpa para papel	159
Tabla A3.15. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por la utilización del hexafluoruro de azufre	160
Tabla A3.16. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por la utilización de sustitutos de SAO	161
Tabla A3.17. Factores de emisión usados para producción de otros químicos	166
Tabla A3.18. Factores de emisión para los COVDM por producción de bebidas	168
Tabla A3.19. Factores de emisión para los COVDM por producción de alimentos.	168
Tabla A3.20. Composición porcentual de mezclas de hidrofluorocarbonos (HFC).	170

ANEXO 3.1 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI PARA EL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES

De acuerdo con las metodologías establecidas el por el IPCC (1997), para la elaboración del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Módulo de procesos industriales, existen diferentes niveles metodológicos de acuerdo con su complejidad, los cuales son usados dependiendo de las capacidades técnicas, disponibilidad y calidad de información que posee cada país con miras a la estimación de sus emisiones.

Para el Módulo de procesos industriales se proponen dos niveles de detalle para el cálculo de las emisiones. El nivel uno, simple o único, en el que se toma la producción total nacional de cada una de las categorías de fuente con un único factor de emisión como base para el cálculo. Este factor de emisión puede ser calculado de acuerdo con las circunstancias nacionales o puede ser un factor de emisión predefinido por el IPCC. El segundo nivel de detalle para el cálculo requiere, además del dato del volumen de producción total nacional de los productos pertinentes al inventario, la información de la caracterización de las materias primas (fracciones, % de pureza, relaciones estequiométricas, entre otros), 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.

De igual manera, las guías del IPCC sugieren una amplia lista de procesos industriales como categorías de fuente de emisiones de GEI, pero sólo se toman en cuenta para el cálculo aquellas actividades industriales existentes en Colombia. Cabe destacar que para el presente inventario se incluyeron las emisiones generadas por la utilización de SF₆ y sustitutos de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), las cuales no se habían calculado para el inventario correspondiente a los análisis de información usada en el cálculo de las emisiones de GEI.

El análisis de la información para el cálculo de emisiones del módulo se presenta en el texto del documento.

3.1 EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE MINERALES NO METÁLICOS

Las emisiones de GEI generadas por la producción de minerales no metálicos se dividen en las siguientes categorías de fuente:

3.1.1 Producción de clinker y cemento

Para esta categoría de fuente se realizó el cálculo de las emisiones de CO₂ y del precursor de aerosoles (SO₂). Las primeras emisiones se calcularon empleando la metodología de nivel 2, la cual se basa en la cantidad de clinker producido en el país, un factor de emisión que se calcula de acuerdo en la fracción del monóxido de calcio (CaO) presente en el clinker y una fracción de corrección por



recirculación de cenizas en el proceso. El cálculo de las emisiones de SO₂ se realizó empleando la metodología de nivel 1, el cual se basa en la cantidad de cemento producido en el país y un factor de emisión que se tasa teniendo en cuenta la cantidad de dióxido de azufre presente en el cemento.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones de CO₂ por la producción de clinker es:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE * (1 + FC)$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = Emisiones de CO₂ (Gg de CO₂).

PT = Producción total de clinker para el año de cálculo (tonelada -t-).

FE = Factor de emisión (t CO₂ / t de clinker).

FC = Factor de corrección por recirculación de cenizas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones de SO₂ por la producción de cemento es:

$$\text{Emisiones de SO}_2 = PT * FE$$

Emisiones de SO₂ = Emisiones de SO₂ (Gg de SO₂).

PT = Producción total de cemento para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t SO₂ / t de cemento).

En la Tabla A3.1 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de clinker y cemento, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.1. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de clinker y cemento.

Proceso	Método de cálculo	Variabes	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de clinker y cemento	Nivel 2	Fracción de CaO en el clinker	0,65, valor predefinido	Valor concertado con el ICPC.
		Cantidad de clinker, producido anual en el país	0,785 t CO ₂ / t de Clinker	
		Factor de corrección por CKD (polvo de horno)	Fracción de corrección por recirculación de ceniza (%) = 2%.	Valor predefinido del IPCC el cual fue concertado con el ICPC.
		Cantidad de Cemento producido	0,3 kg SO ₂ / t de cemento	Se concertó con el ICPC que las arcillas utilizadas para la producción de cemento no contienen azufre, por lo tanto, no se realizó este cálculo.

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.1.2 Producción de cal viva y cal dolomita

Para esta categoría de fuente se realizó el cálculo de las emisiones de CO₂ mediante la metodología de nivel 1, la cual involucra la cantidad de cal producida en el país y un factor de emisión que se calcula de acuerdo con la cantidad de CaO presente en la cal.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones de CO₂ por la producción de cal es:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = Emisiones de CO₂ (Gg de CO₂).

PT = Producción total de cal para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t CO₂ / t de cal).

En la Tabla A3.2 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de cal, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.2. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de cal

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de cal	Nivel 1	Cantidad de cal dolomita producida	0,91 t CO ₂ / t de cal dolomita	Se utiliza para dolomita elaborada, la cual significa lo mismo que cal dolomita producida.
		Cantidad de cal viva producida	0,79 t CO ₂ / t cal viva	Valor determinado por el IPCC.
		Contenido de CaO ó contenido de CaO - MgO	0,95 Cal caliza, 0,85 cal dolomita, valores por omisión	Valor definido por el IPCC.
		Proporción de Cal hidratada	Se multiplica el factor de emisión para cal viva, por un factor de corrección por omisión de 0,97	En el reporte del DANE se encuentra la producción de cal hidratada, por lo tanto, se incluye en el total de cal viva, una vez se ha aplicado el factor de corrección.

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.1.3 Producción y uso de carbonato de sodio

El cálculo de las emisiones de CO₂ generadas por la producción y uso de carbonato de sodio se llevó a cabo mediante la aplicación de la metodología de nivel 1, la cual incluye la cantidad de carbonato de sodio producido o usado por un factor de emisión definido directamente en las metodologías propuestas por el IPCC.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones de CO₂ por la producción y uso de carbonato de sodio es la siguiente:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = Emisiones de CO₂ (Gg de CO₂).

PT = Producción o uso total de carbonato de sodio para el año del cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t CO₂ / t de carbonato de sodio producido).

En la Tabla A3.3 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción y uso de carbonato de sodio, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.3. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción y uso de carbonato de sodio

Procesos	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de carbonato de sodio	Nivel 1	Tipo de proceso por el cual se produce	Según tipo de proceso	Se estableció que en Colombia el tipo de proceso aplicado es el Solvay. Dicha producción cesó en el año 1991. Una empresa colombiana plantea retomar la producción nacional de carbonato de sodio hacia los años 2008-2009
		Cantidad utilizada de trona para la producción	0,097 t de CO ₂ / t de carbonato producido	
Uso de carbonato de sodio		Cantidad utilizada de carbonato	Valor por omisión IPCC: 415 kg de CO ₂ / t de carbonato usado	Valor estimado con la información del DANE

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.1.4 Producción de asfalto para techado

Para esta categoría de fuente se realizó el cálculo de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), los cuales son precursores de GEI. Para ambos casos se usó la metodología del nivel 1, la cual tiene en cuenta la cantidad de asfalto producido en el país y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de asfalto para techado es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO ó COVDM (Gg).

PT = Producción total de asfalto para techado para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de asfalto para techado).

En la Tabla A3.4 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de asfalto para techado.

Tabla A3.4. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de asfalto para techado

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de asfalto para techado	Nivel 1	Cantidad de asfalto para techado producido por el método con / sin rociado o al soplado.	Valor por omisión IPCC: 2,4 kg de COVDM / t de asfalto producido. 0,095 kg de CO / t de asfalto total producido para techado.	Según Corasfaltos, esta producción corresponde en mayor proporción a impermeabilizantes para techado. Información del DANE para cantidad de impermeabilizantes asfálticos producidos anualmente. Las guías del IPCC indican que la totalidad del asfalto que no es para pavimentación se puede tomar como la cantidad producida por el método al soplado, por lo tanto, se elige el factor de emisión para este método.

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.1.5 Producción de asfalto para pavimentación

Para esta categoría de fuente se realizó el cálculo de las emisiones de monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂), este último es precursor de aerosol, mientras que los tres primeros son precursores de GEI. Para todos los casos se usó la metodología del nivel 1, la cual se basa en la cantidad de asfalto producido en el país y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de asfalto para pavimentación es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO, COVDM, NOx o SO₂ (Gg).

PT = Producción total de asfalto para pavimentación para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de asfalto para pavimentación).

En la Tabla A3.5 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de asfalto para pavimentación, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.5. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de asfalto para pavimentación

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de asfalto para pavimentación	Nivel 1	Cantidad de asfalto para pavimentación producido	Valor por omisión IPCC: 0,023 kg de COVDM / t de asfalto producido para pavimentación. 0,035 kg de CO / t de asfalto usado para pavimentación. 0,084 kg de NOx / t de asfalto usado para pavimentación. 0,12 kg de SO ₂ / t de asfalto usado para pavimento.	Ecopetrol indicó que la información suministrada de asfaltos corresponde en su totalidad para pavimentación. La información que allegó Ecopetrol se presentó en unidades volumétricas, la equivalencia de las mezclas asfálticas en toneladas para la realización del cálculo.

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

• Proceso de pavimentación

El cálculo de las emisiones de COVDM mediante la implementación de la metodología de nivel 1 se realizó con base en la cantidad de de vías pavimentadas y un factor de emisión que se calculó de acuerdo con la cantidad de COVDM presente en el pavimento usado.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por el proceso de pavimentación es la siguiente:

$$\text{Emisiones de COVDM} = PT * FE$$

Las variables de la ecuación corresponden a:

Emisiones de COVDM = Emisiones de COVDM (Gg).

PT = Cantidad total de vías pavimentadas para el año de cálculo (t)

FE = Factor de emisión (t GE I / t de pavimento usado)

En la Tabla A3.6 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por el proceso de pavimentación, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.6. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por proceso de pavimentación

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Pavimentación	Nivel 1	Área pavimentada	Valor por omisión IPCC: 320 kg de COVDM/t de pavimento utilizado Factor de conversión de 100 kg de asfalto/m ²	El Instituto nacional de vías (Invías) reportó la información de los km pavimentados al año. Además, para futuros inventarios se recomienda obtener información de las gobernaciones y secretarías de obras de las capitales, para estimar el total de área pavimentada nacional.

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

3.1.6 Producción de vidrio

Para esta categoría de fuente se realizó el cálculo de las emisiones de CO, COVDM, NOx y SO₂. Para todos los casos se usó la metodología del nivel 1, la cual se basa en la cantidad de vidrio producido en el país y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de vidrio es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO, COVDM, NOx ó SO₂ (Gg).

PT = Producción total de vidrio para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GE I / t de vidrio).

En la Tabla A3. 7 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de vidrio, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.7. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de vidrio

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de vidrio	Nivel 1	Cantidad de vidrio producido.	Valor por omisión IPCC: 4,5 kg de COVDM / t de vidrio producido.	La información para vidrio plano y envases fue tomada del DANE.

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

3.2 EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE QUÍMICOS

Las emisiones de GEI por la producción de químicos se dividen en las siguientes categorías:

3.2.1 Producción de amoníaco

Para la categoría de producción de amoníaco se calculan las emisiones de CO₂, COVDM, CO y SO₂, para lo que se usó la metodología de nivel 1 propuesto por el IPCC. Esta metodología se basa en la cantidad de amoníaco producido y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de amoníaco es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO₂, COVDM, CO ó SO₂ (Gg).

PT = Producción total de amoníaco para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GE I / t de amoníaco).

En la Tabla A3. 8 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de amoníaco.

Tabla A3.8. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de amoníaco

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de amoníaco	Nivel 1	Cantidad de amoníaco producido	Factor de emisión: 1500 kg de CO ₂ / t de amoníaco producido.	Valor estimado con la información del DANE.

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, los autores.

3.2.2 Producción de ácido nítrico

En el cálculo que se efectuó para las emisiones de N₂O, se aplicó la metodología nivel 2, propuesta por el IPCC, mientras que para las emisiones de NO_x se usó la metodología nivel 1.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones de N₂O es la siguiente:

$$\text{Emisiones de } N_2O = PT * FE * \{1 - FD \text{ de } N_2O * FUSC\}$$

Las variables de la ecuación anterior, significan:

Emisiones de N₂O = Emisiones de N₂O (Gg).

PT = Producción total de ácido nítrico para el año de cálculo (t)

FE = Factor de emisión (t N₂O / t de ácido nítrico).

FD = Factor de destrucción de N₂O (%) (según el tipo de tecnología usada para la destrucción).

FUSC = Factor de uso de sistema de control (%) (según tipo sistema usado).

La ecuación usada en el cálculo de las emisiones de NO_x es:

$$\text{Emisiones de NO}_x = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de NO_x = Emisiones de NO_x (Gg).

PT = Producción total de ácido nítrico para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t NO_x / t de ácido nítrico).

En la Tabla A3.9 se amplía la descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de amoníaco.

Tabla A3.9. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de ácido nítrico

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Producción de ácido nítrico	Nivel 2	Cantidad de ácido nítrico producido	8 kg de N ₂ O / t de ácido nítrico producido	Cantidad sumada de la producción de Abocol y Monómeros, dos grandes empresas a nivel nacional de producción del ácido nítrico. Si bien el DANE reporta para los años 2000 y 2004 unos datos nacionales inferiores a la suma de la producción de estas dos empresas, se usa la información de las empresas citadas.
		Proceso	Hay cinco tipos de procesos: presión dual, media presión, presión atmosférica, plantas con NSCR, plantas sin NSCR	La información suministrada por Abocol y Monómeros indica que no realizan procesos de reducción de N ₂ O, por lo que no se define ningún proceso.
		Factor de destrucción del N ₂ O		La información suministrada por Abocol y Monómeros indica que no realizan procesos de reducción de N ₂ O, por lo que no se define ningún valor para esta variable
		Factor de utilización del sistema de reducción		

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.2.3 Utilización de carburo de otros químicos

El uso y producción de otros químicos objeto del cálculo de emisiones son: carburo de calcio, negro de humo, cloruro de polivinilo, formaldehído, polietileno de baja densidad, poliestireno, polipropileno, ácido sulfúrico, anhídrido ftálico, coque, metanol y dióxido de titanio. Se aplicó la metodología de nivel 1, propuesta por el IPCC, la cual se basa en la cantidad de cada químico producido en el país y un factor de emisión que depende el tipo de químico y el tipo de gas al cual se le calcula las emisiones. Los gases a los que se les calculan las emisiones son: CO₂, CH₄, COVDM, CO, NO_x y SO₂.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de otros químicos es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO₂, CH₄, COVDM, CO, NO_x y SO₂ (Gg).

PT = Producción total de otros químicos para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de producto).

En la Tabla A3.10 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de otros químicos, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.10. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de otros químicos

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Valor	Observaciones
Utilización de carburo de calcio	Nivel 1	Cantidad total producida	Valor por omisión del IPCC: 1,1 t CO ₂ / t de carburo producido	Valor estimado con la información del DANE.
Producción de negro de humo		Cantidad total producida	Valor por omisión IPCC: 11 kg CH ₄ / t producida	
Producción de cloruro de polivinilo			Valor por omisión IPCC: 8,5 kg COVDM / t producida	
Producción de formaldehído			Valor por omisión IPCC: 5 kg COVDM / t producida	
Producción de polietileno de baja densidad			Valor por omisión IPCC 3 kg COVDM / t producida	
Producción de poliestireno			Valor por omisión IPCC 5,4 kg COVDM / t producida	
Producción de polipropileno			Valor por omisión IPCC 12 kg COVDM / t producida	Información del DANE para el año 2000. Acoplásticos informa de una producción creciente, se opta por tomar la capacidad instalada para producción de Polipropileno según datos de Acoplásticos ¹
Producción de ácido sulfúrico		Valor por omisión IPCC: 12,5 kg SO ₂ / t producida	Información del DANE. La UPME presenta las estadísticas de producción en 102.863 t para el año 2000, que concuerda con el DANE.	
Producción de anhídrido ftálico		Valor por omisión IPCC: 6 kg COVDM / t producida	Información del DANE.	
Producción de coque		Valor por omisión IPCC 0,5 kg CH ₄ / t producida	Balance Energético Nacional, UPME. Información del DANE, que se denomina 'bióxido de titanio' o blanco de zinc	
Producción de metanol		Valor por omisión IPCC 2 kg CH ₄ / t producida	Valor estimado con la información del DANE.	
Producción de dióxido de titanio		Valor por omisión IPCC 14,6 kg SO ₂ / t producida		

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.3 EMISIONES DE GEI POR PRODUCCIÓN DE METALES

En el cálculo de las emisiones de GEI por producción de metales se tuvo en cuenta las siguientes actividades: producción de hierro, acero, aluminio y ferromniquel para las que se calcularon las emisiones de CO₂, NO_x, COVDM, CO y SO₂. De acuerdo con la información disponible en el país, las metodologías usadas para el cálculo fueron las de nivel 1, las que se basan en la producción total en el país y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de metales es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO₂, COVDM, CO, NO_x y SO₂ (Gg).

PT = Producción total de metales para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de producto).

En la Tabla A3.11 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de metales, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato. Ver Tabla A3.11

1 Acoplásticos. Guía de Plásticos en Colombia, 2003-2004; Guía de Plásticos en Colombia, 2006-2007.

Tabla A3.11. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de metales

Proceso	Método de cálculo	Variabes	Cantidad / valor	Observaciones
Producción de hierro	Nivel 1b (CO ₂)	Cantidades de hierro producidas en alto horno	Factores de emisión por omisión o predefinidos por el IPCC para CO ₂ , CO, NOx, COVDM, SO ₂ .	Información proporcionada por Fedemetal y datos reportados en la publicación: La industria del acero en Colombia (Fedemetal, Comité Siderúrgico Colombiano 2005).
	Nivel 1 (CO, NOx, COVDM, SO ₂)	Producción total de hierro	1,6 t CO ₂ / t producida 76 g NOx / t producida 100 g COVDM / t producida 1300 g CO / t producida 2000 g SO ₂ / t producida	
Producción de acero	Nivel 1b (CO ₂)	Cantidades de acero producidas por laminado en frío	Factores de emisión por omisión del IPCC para CO, NOx, COVDM, SO ₂ 1,6 t CO ₂ / t producida. 40 g NOx / t producida. 30 g COVDM / t producida. 1 g CO / t producida. 45 g SO ₂ / t producida.	La información recibida del DANE se refiere al acero en lingotes y formas similares en cantidades pequeñas. Información proporcionada por Fedemetal y los datos reportados en la publicación: La Industria del Acero en Colombia (Fedemetal, Comité Siderúrgico Colombiano 2005).
	Nivel 1 (CO, NOx, COVDM, SO ₂)	Producción total de acero	Factor de emisión por omisión de IPCC para CO ₂ 1,6 t CO ₂ / t producida	Información consolidada proporcionada por Fedemetal y datos reportados en la publicación: La Industria del Acero en Colombia (Fedemetal, Comité Siderúrgico Colombiano 2005).
Producción de ferroniquel	Nivel 1	Cantidad total anual	6,5 - 6,6 t CO / t de aleación producida	Información reportada por la única empresa productora del país de mineral: CerroMatoso S.A. El factor de emisión fue concertado con CerroMatoso, puesto que el IPCC no sugiere uno predefinido.
Producción de aluminio	Nivel 1	Cantidad de aluminio producido	Valor por omisión o predefinidos por el IPCC, según cantidad de aluminio producida por tecnología para CO ₂ , CF ₄ , C ₂ F ₆ , CO, NOx, SO ₂ .	No se registran estadísticas en el gremio de producción de metales para la obtención de los datos de aluminio. Por lo tanto, a partir de la EAM del DANE se tomaron los datos correspondientes con los productos de aluminio, para los cuales se asume que corresponden a los productos primarios producidos por las empresas del sector de la producción del aluminio: láminas, tubos, discos, piezas fundidas, poleas, alambre, tejas, papel, tuercas y arandelas, y artículos de aluminio n.c.p. Se estableció que el proceso más utilizado en el mundo es el de ánodos precozidos, para el que se utilizaron los factores predefinidos por el IPCC.

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

3.4 EMISIONES DE GEI POR OTRA PRODUCCIÓN (bebidas, alimentos y pulpa para papel)

3.4.1 Emisiones de GEI por producción de bebidas

En el cálculo de las emisiones de GEI por producción de bebidas se tuvieron en cuenta las siguientes actividades: producción de vino, whisky, bebidas espirituosas, cerveza y brandy; para las que se calcularon las emisiones de COVDM. De acuerdo con la información disponible en el país, la metodología usada para el cálculo fue la de nivel 1, la cual se basa en la producción total en el país y un factor de emisión para el gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de bebidas es:

$$\text{Emisiones de COVDM} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de COVDM = Emisiones de COVDM (Gg).

PT = Producción total de bebidas para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de producto).

En la Tabla A3.12 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de bebidas, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.12. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de bebidas

Proceso	Método de cálculo	Variabes	Cantidad / Factor de emisión a usar	Análisis de la información recibida
Producción de vino	Nivel 1	Cantidad total anual	Valor por omisión IPCC 0,08 kg COVDM / hL de vino blanco producido. 0,035 kg COVDM / hL de vino tinto producido.	Información tomada del DANE sobre: vinos de uvas, mistelas y cremas, vinos espumosos y vinos de frutas. Se estableció un porcentaje de producción para Colombia del 40% para el vino blanco y del 60% para el vino tinto sobre el total de la producción.
Producción de whisky			Valor por omisión IPCC 7,5 kg COVDM / hL de whisky producido de cebada. 15 kg COVDM / hL de whisky producido de malta	Se estableció que para Colombia la producción total es de whisky de cebada o granos. Información del DANE.
Producción de bebidas espirituosas			Valor por omisión IPCC 15 kg COVDM / hL de bebidas producidas	Información del DANE.
Producción de cerveza			Valor por omisión IPCC 0,035 kg COVDM / hL de cerveza producida	Los datos incluyen: cerveza tipo Pilsen, negra y en proceso. Información del DANE.
Producción de brandy			Valor por omisión IPCC 3,5 kg COVDM / hL brandy producido. (hL= hectolitros)	En Colombia no se registra producción de coñac, pero sí existe producción de brandy. Información del DANE.

Fuente: Los autores con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

3.4.2 Emisiones de GEI por producción de alimentos

El cálculo de las emisiones de GEI por producción de alimentos se divide en las siguientes categorías: producción de carne, pollo y pescado; tortas bizcochos y cereales; azúcar, pan, café tostado, comida animal y margarina; para las cuales se calcularon las emisiones de COVDM. De acuerdo con la información disponible en el país, la metodología usada para el cálculo fue la de nivel 1, la cual se basa en la producción total en el país y un factor de emisión para el gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de alimentos es:

$$\text{Emisiones de COVDM} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de COVDM = Emisiones de COVDM (Gg).

PT = Producción total de alimentos para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de producto).

En la Tabla A3.13 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de alimentos, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato. Ver Tabla A3.13

3.4.3 Emisiones de GEI por producción de pulpa para papel

Para esta categoría se calcularon las emisiones de los precursores de GEI NO_x, COVDM, CO y SO₂, para lo cual se usó la metodología de nivel 1, basándose en la producción total de pulpa para papel en el país y un factor de emisión para cada gas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la producción de pulpa para papel es:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Donde:

Emisiones de GEI = Emisiones de CO₂DM, CO, NO_x y SO₂ (Gg).

PT = Producción total de alimentos para el año de cálculo (t).

FE = Factor de emisión (t GEI / t de producto).

En la Tabla A3.14 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por la producción de pulpa para papel, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.13. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de alimentos

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / Factor de emisión a usar	Análisis de la información recibida
Producción de carne, pescado y pollo	Nivel 1	Cantidad total anual	Valor tomado por omisión del IPCC: 0,3 kg CO ₂ DM / t de carnes producidas	Incluye: carnes de pollo, gallina y pavo; carne vacuna fresca y congelada; carne fresca de cerdo; carnes curadas; pescado y filetes de pescado congelados, filetes congelados de atún, pescados enlatados, atún enlatado; crustáceos y moluscos congelados. Información del DANE.
Producción de tortas, bizcochos y cereales			Valor por omisión IPCC: 1 kg CO ₂ DM / t de tortas, bizcochos, cereales producidas	Incluye: ponqués y tortas, bizcochos y pasteles de dulce; bizcochos, tortillas (arepas), pasteles y bocadillos de harina de maíz; tortillas (pizza) de harina de trigo; bizcochos de harina de achira; galletas, retal de galletas, barquillos y obleas. Información del DANE.
Producción de azúcar			Valor por omisión del IPCC: 10 kg CO ₂ DM / t de azúcar producida	Incluye: azúcar cruda, sulfatada, refinada, en cubos y concentrada. Información del DANE.
Producción de pan			Valor por omisión IPCC: 8 kg CO ₂ DM / t de pan producido	Incluye: pan de trigo y de maíz, queso, yuca y similares; calados, tostadas y productos similares como miga de pan; mogolla-moyuelo. Información del DANE.
Producción de café tostado			Valor por omisión IPCC: 0,55 kg CO ₂ DM / t de café producido	Información del DANE. Incluye: café tostado y molido.
Producción de comida animal			Valor por omisión IPCC: 1 kg CO ₂ DM / t de comida producida	Incluye: alimentos balanceados para ganado vacuno, porcino y equinos; aves, perros y gatos; preparaciones alimenticias especiales para animales; alimentos especiales para peces; alimentos especiales para cría y levante de conejos; y mezclas básicas para alimentos de animales. Información del DANE.
Producción de margarina			Valor por omisión IPCC: 10 kg CO ₂ DM / t de margarinas producidas	Incluye: margarina, mantequilla, margarinas compuestas para cocinar y margarinas y cremas mezcladas para panadería. Información del DANE.

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Tabla A3.14. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por producción de pulpa para papel

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / valor	Observaciones
Producción de pulpa por proceso Kraft	Nivel 1	Producción nacional de pulpa al sulfato	Factores de emisión por omisión del IPCC para CO, NO _x , CO ₂ DM y SO ₂ 1,5 kg NO / t producida. 3,7 kg CO ₂ DM / t producida. 5,6 kg CO / t producida. 7 kg SO ₂ / t producida.	El cálculo comprendió los datos reportados para proceso químico y semiquímico. Información de la Cámara de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI.
Producción de pulpa sulfitada, bisulfito o a la soda		Producción nacional de pulpa	Valor por omisión IPCC: 30 kg SO ₂ / t de pulpa producida	La Cámara reporta que en Colombia no se realiza producción de pulpa por el proceso 'al sulfito'. La empresa Propal S.A. informó sobre la producción que realiza por el proceso a la soda y a partir del bagazo

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*

3.5 EMISIONES DE GEI POR LA UTILIZACIÓN DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆)

En esta categoría se calculan las emisiones de hexafluoruro de azufre (SF₆) por el uso de éste en equipos eléctricos utilizados en los sistemas de transmisión. La metodología empleada fue la de nivel 1.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la utilización de hexafluoruro de azufre (SF_6) es:

$$\text{Emisiones de } SF_6 = CP + CIG + CIP - CEG - CEP - CD$$

Donde:

Emisiones de SF_6 = Emisiones de SF_6 por su uso en equipos eléctricos (Gg).

CP = Producción total de SF_6 para el año de cálculo (t).

CIG = Cantidad de SF_6 importada a granel (t).

CIP = Cantidad de SF_6 importada en productos (t).

CEG = Cantidad de SF_6 exportada a granel (t).

CEP = Cantidad de SF_6 exportada en productos (t).

CD = Cantidad de SF_6 destruida (t).

En la Tabla A3.15 se presenta una descripción de las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por el uso de hexafluoruro de azufre, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.15. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por la utilización del hexafluoruro de azufre

Proceso	Método de cálculo	Variables	Cantidad / valor	Observaciones
Utilización en el sector eléctrico	Nivel 1	Cantidad anual producida	Emisiones = Producido + Importado – exportado - destruido	En Colombia no se realiza producción ni destrucción de SF_6 . No fue posible cuantificar las emisiones, con la información suministrada de la sustancia a granel por la base de datos BACEX de Mincomercio, porque la sustancia viene en partidas agregadas. Se logró identificar a las dos empresas importadoras de estos equipos: Siemens y Schneider Electric en Colombia. La información analizada y procesada fue consultada con las entidades encargadas del sistema de transmisión y distribución de energía en el país.

Fuente: Los autores, con metodología de: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.6 EMISIONES DE GEI POR LA UTILIZACIÓN DE SUSTITUTOS DE SAO

Para esta categoría de fuente se calcularon las emisiones por el uso de sustancias consideradas como sustancias agotadoras de ozono (SAO), para lo cual se utilizó la metodología de nivel 1, la cual sólo considera la sustancia química importada y exportada a granel. Con el apoyo de la UTO se estableció que en el país existe la utilización de sustitutos SAO en las actividades de aerosoles, solventes, refrigeración fija y móvil, extinción de incendios, y en fabricación de espumas.

La ecuación usada para el cálculo de las emisiones por la utilización de sustitutos de SAO:

$$\text{Emisiones de sustitutos de SAO} = CP + CI - CE - CD$$

Donde:

Emisiones de sustitutos de SAO = Emisiones por uso de sustitutos de SAO (Gg).

CP = Producción total de sustitutos de SAO para el año de cálculo (t).

CI = Cantidad importada a granel de sustitutos de SAO (t).

CE = Cantidad exportada a granel de sustitutos de SAO (t).

CD = Cantidad total destruida de sustitutos de SAO (t).

Colombia no produce ningún tipo de sustancia considerada sustituto de SAO como los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC), por lo tanto, la demanda se cubre con

importaciones. Tampoco se eliminan, recuperan o reciclan estas sustancias². Esta información se consultó en la base de datos del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo -BACEX-.

Por lo anterior, se estableció que las sustancias a ser reportadas en el Inventario Nacional de HFC y PFC serían: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a y HFC-152a. Para el manejo de los datos que provienen de las mezclas de dos o más sustancias, se tiene en cuenta la cantidad de cada componente HFC de las mezclas y se suma a la cantidad total de la sustancia a la que corresponda. Para realizar los cálculos requeridos, las mezclas registradas recayeron en: HFC-404a, HFC-407c, y HFC-507.

En la Tabla A3.16 se describen las variables usadas para el cálculo de las emisiones generadas por el uso de sustitutos de SAO, incluyendo unidades de medida, características principales y observaciones para la obtención del dato.

Tabla A3.16. Descripción de las variables usadas en el cálculo de emisiones por la utilización de sustitutos de SAO

Proceso / Uso	Método de cálculo	Variable	Cantidad / valor	Observaciones
Utilización de sustitutos SAO en:	Nivel 1	Cantidad de sustancia producida	Emisiones = Producido + Importado – Exportado – Destruído Principales HFC: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea, HFC-236fa, HFC-245fa, HFC-365mee y HFC-43-10mee. Principales PFC: PFC-14, PFC-16, PFC-218.	En Colombia no se realiza producción ni destrucción de HFC y PFC.
refrigeración fija		Cantidad de sustancia importada		Los registros de importaciones y exportaciones se tomaron de la base de datos de Mincomercio (BACEX), de las partidas de HFC y PFC.
refrigeración móvil		Cantidad de sustancia exportada		Se solicitó a la DIAN la información sobre la cantidad de la sustancia que efectivamente ingresó o salió del país. Si se desea ampliar la certidumbre de la estimación de las emisiones, se puede calcular el Nivel 1, descrito para SF6, con el mismo procedimiento para los sustitutos de SAO.
espumas de poro abierto		Cantidad de sustancia destruida		
espumas de poro cerrado				
extintores para incendios				
aerosoles				
solventes				

Fuente: Los autores, con metodología de Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

3.7 PROCESO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI

Con base en la estructura que se describe para el cálculo de las emisiones derivadas de procesos se adelantó el análisis correspondiente.

3.7.1 Cálculo de la categoría producción de minerales no metálicos

- **Producción de clinker y cemento**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de SO}_2 = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 0,785 * (\text{Fracción en peso CaO en el clinker}).$$

$$FE = 0,785 * (0,65) = 0,51 \text{ t CO}_2 / \text{t de clinker}.$$

$$\text{Fracción de corrección por recirculación de ceniza} = 0,02.$$

² SÁNCHEZ, P. Inventario nacional de hidrofluorocarbonos HFC y perfluorocarbonos PFC como sustituto de las sustancias agotadoras de ozono (SAO) de los años 2000 y 2004. Tesis de pregrado, Universidad del Bosque. Facultad de Ingeniería Ambiental. Unidad Técnica de Ozono 2007.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 0,3 \text{ t SO}_2 / \text{ t de cemento.}$$

El valor de las variables fracción en peso de CaO y fracción de recirculación de ceniza es sugerido por la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Tales cifras fueron además concertadas con la mesa técnica, el gremio y las empresas del sector cementero. Con la información requerida se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Producción de cal viva y cal dolomita**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 0,79 * (\text{contenido de CaO en la cal viva producida}).$$

$$FE = 0,79 * (0,95).$$

$$FE = 0,7505 \text{ t CO}_2 / \text{ t de cal viva}$$

El dato correspondiente a cal hidratada producida en el año del inventario se debe multiplicar el valor de la producción anual por un factor de corrección (0,97), sugerido por el IPCC³, y sumar la cantidad de cal hidratada (corregida) a la cantidad de cal viva para el cálculo de las emisiones de CO₂. Una vez se acopia la información, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 0,91 * (\text{contenido de CaO y MgO en la cal dolomita producida}).$$

$$FE = 0,91 * (0,85).$$

$$FE = 0,7735 \text{ t CO}_2 / \text{ t de cal dolomita.}$$

- **Producción y utilización de carbonato de sodio**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 0,097 \text{ t CO}_2 / \text{ t de carbonato de sodio producido.}$$

$$FE = 415 \text{ kg CO}_2 / \text{ t de carbonato de sodio utilizado.}$$

Se utilizaron los factores definidos por omisión (default) del IPCC, por no contar con información de datos medidos directamente en las plantas o un promedio nacional. Luego de obtener la información necesaria, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

3 Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

- **Producción de asfalto para techado**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado para el proceso de soplado de asfalto:

FE	= 0,1 kg COVDM / t de asfalto para techado (con postquemador).
FE	= 2,4 kg COVDM / t de asfalto para techado (sin ningún control).
FE	= 0,0095 kg CO / t de asfalto para techado (producción por saturación sin rociado).

Se usa el factor de emisión por omisión (default) del IPCC de 2,4 porque no se cuenta con un factor de emisión medido directamente en la fábrica. Con la información requerida, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Producción de asfalto para pavimentación**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

FE	= 0,023 kg COVDM / t de asfalto para pavimentación.
FE	= 0,035 kg CO / t de asfalto para pavimentación.
FE	= 0,084 kg NOx / t de asfalto para pavimentación.
FE	= 0,12 kg SO ₂ / t de asfalto para pavimentación.

Ecopetrol reportó tres tipos de mezclas asfálticas: asfalto 60/70, asfalto 80/100 y asfalto 70/90 para los años del inventario, en barriles totales producidos. Por lo anterior, la misma entidad proporcionó el valor de conversión para obtener la cantidad de asfaltos en unidad de masa para el cálculo.

1 tonelada (t) de asfalto = 6,2971 barriles.

Teniendo en cuenta la información allegada por la empresa, el valor informado se aplicó para el total de cantidad de asfalto reportado. Para cálculos posteriores se encuentra procedente contar con la densidad de cada una de las mezclas, lo cual permitiría una mayor exactitud en el reporte de conversión a unidades de masa. Con la información de entrada, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Proceso de pavimentación**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de COVDM} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

FE	= 320 kg COVDM / t de pavimento utilizado.
----	--

Los datos obtenidos de pavimentación se emplean en kilómetros pavimentados en el año del inventario. Con tal insumo y las directrices del IPCC, se utilizó la siguiente relación para obtener la cantidad de pavimento utilizado para carreteras:

100 kg de asfalto / m² de superficie.



Puesto que el dato inicialmente reportado se expresó en kilómetros, con base en el ancho promedio de las carreteras a nivel nacional (7,5 m), valorado con los expertos del Instituto Nacional de Vías – Invías, se realizó el siguiente cálculo:

- Se multiplicó la longitud pavimentada reportada por el Invías por el ancho promedio de las carreteras en el país (7,5 m).
- Se multiplicó la relación 100 kg de asfalto / m² de superficie por el área pavimentada obtenida en el paso a).
- Una vez obtenida la cantidad de pavimento utilizado para carreteras, se multiplicó por el factor de emisión definido por omisión del IPCC.
- Finalmente, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Producción de vidrio**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 4,5 \text{ kg COVDM} / \text{t de vidrio producido.}$$

La información reportada por el DANE para los productos relacionados como vidrio plano son vidrio plano son: biselar ni azogar y vidrio plano biselado, fue expresada en unidades de área (m²). Para obtener la cantidad de vidrio en unidades de masa (t), se obtuvo de los expertos la profundidad promedio de una lámina de vidrio y la densidad del mismo, con los siguientes valores:

Profundidad o alto promedio = 0,005 m (5 mm).

$$\rho \text{ del vidrio} = 2500 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Puesto que la producción de envases se reportó inicialmente en número de envases producidos, fue necesario estimar con los conocedores del tema el peso promedio de un envase de vidrio mediano (350 ml), llegando a la cifra de: 0,36 kg, para obtener la cantidad en toneladas de envases producidos.

El DANE presentó la información de envases para el año 2000; sin embargo, la EAM no registró el valor de la variable ‘número de envases producidos’ para el 2004. Por su parte, teniendo en cuenta los datos generados tanto por Bancoldex, en el Resumen sectorial productos de vidrio 2005, como en la Cadena del vidrio publicada por el DNP, para el periodo 2000-2004, se encuentra que la producción no ha disminuido en este sector. Adicionalmente, para resolver la falta de una tasa de crecimiento aproximada de la producción del 2004 en relación con el 2000, se optó por una producción equivalente, y se asumió un valor igual de producción en los años a calcular. Con tales argumentos, se realizó el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

3.7.2 Cálculo de la categoría producción de químicos

- **Producción de amoníaco**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

$$FE = 4,7 \text{ kg COVDM} / \text{t de amoníaco producido.}$$

FE = 7,9 kg CO / t de amoníaco producido.
 FE = 0,03 kg SO₂/ t de amoníaco producido.
 FE = 1500 kg CO₂/ t de amoníaco producido.

Finalmente, se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Producción de ácido nítrico**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de } N_2O = PT * FE * \{1 - FD \text{ de } N_2O * FUSC\}$$

Factor de emisión usado:

FE = 8 kg N₂O / t de ácido nítrico.

Factor de destrucción de N₂O (%) = según tipo de proceso (tecnología de destrucción).

Factor de utilización del sistema de control (%) = según tipo de proceso y uso.

Las dos grandes empresas productoras de ácido nítrico en Colombia son Abocol S.A. y Monómeros Colombo Venezolanos S.A. Ambas indicaron que actualmente no realizan procesos de destrucción de N₂O, por lo tanto, los factores se consideran como cero.

Las directrices del IPCC indican para el factor de emisión, un rango de 2-19 kg N₂O / t de ácido producido y recomiendan establecerlo con empresas nacionales. Por lo tanto, se concertó con las empresas mencionadas un factor de emisión de 8 kg N₂O / t de ácido nítrico para Colombia, basado en las mediciones en planta.

$$\text{Emisiones de } NO_x = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

FE = 12 kg NO_x/t de ácido nítrico

Las directrices del PICC señalan para el factor de emisión de NO_x entre 0,1-20 kg NO_x / t ácido, un valor de 12, si se desconocen los detalles del proceso; se decidió tomar este valor para el país. El valor de producción total en el año del inventario de ácido nítrico, es la suma de la producción reportada por las empresas Abocol S.A. y Monómeros Colombo Venezolanos. Luego de la obtención de la información requerida se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.

- **Producción de otros químicos**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Los factores de emisión (FE) usados para la categoría de producción de otros químicos se muestran en la Tabla A3.17.

Luego de la obtención del valor de la producción total y de los factores de emisión para cada uno de los gases se realiza el cálculo de las emisiones por esta categoría de fuente.



Tabla A3.17. Factores de emisión usados para producción de otros químicos

Actividades existentes	Factor de emisión (kg gas/t producto)					
	CO ₂	CH ₄	COVDM	CO	NOx	SO ₂
Utilización de carburo de calcio	1,10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Producción de negro de humo	N/A	11,00	40,00	10,00	0,40	3,10
Producción de cloruro de polivinilo	N/A	N/A	8,50	N/A	N/A	N/A
Producción de formaldehído	N/A	N/A	5,00	N/A	N/A	N/A
Producción de polietileno de baja densidad	N/A	N/A	3,00	N/A	N/A	N/A
Producción de poliestireno	N/A	N/A	5,40	N/A	N/A	N/A
Producción de polipropileno	N/A	N/A	12,00	N/A	N/A	N/A
Producción de ácido sulfúrico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,50
Producción de anhídrido ftálico	N/A	N/A	6,00	N/A	N/A	N/A
Producción de coque	N/A	0,50	N/A	N/A	N/A	N/A
Producción de metanol	N/A	2,00	N/A	N/A	N/A	N/A
Producción de dióxido de titanio	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	14,60

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

3.7.3 Cálculo de la categoría producción de metales

- **Producción de hierro y acero**

Ecuación general utilizada:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

- FE = 1,6 t CO₂ / t de metal producido⁴.
- FE = 76 g NOx / t de hierro producido.
- FE = 100 g COVDM / t de hierro producido.
- FE = 1300 g CO / t de hierro producido.
- FE = 2000 g SO₂ / t de hierro producido.

Para la producción de acero:

- FE = 40 g NOx / t de acero producido.
- FE = 30 g COVDM / t de acero producido.
- FE = 1 g CO / t de acero producido.
- FE = 45 g SO₂ / t de acero producido.

En los cálculos requeridos para las emisiones de NOx, COVDM; CO, y SO₂ se tomaron los factores de emisión por omisión (default) del IPCC, correspondientes a la producción de hierro-carga a altos hornos.

- **Producción de aluminio**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

- FE = 1,8 t CO₂ / t de aluminio producido (tecnología Soderberg).

4 Directrices del IPCC para los inventarios de gases efecto invernadero, versión revisada 1996.

- FE = 1,5 t CO₂/ t de aluminio producido (tecnología precocido con ánodos).
- FE = 2,5 kg NOx / t de aluminio producido.
- FE = 135 kg CO / t de aluminio producido (electrólisis).
- FE = 400 kg CO / t de aluminio producido (horneado de ánodos).
- FE = 14,2 kg SO₂/ t de aluminio producido (electrólisis).
- FE = 14,2 kg SO₂/ t de aluminio producido (horneado de ánodos).

Para el aluminio no fue posible obtener estadísticas en el gremio de producción de metales por lo tanto, a partir de la EAM del DANE se tomaron los datos correspondientes a productos de aluminio, tales como láminas, tubos, discos, piezas fundidas, poleas, alambre, tejas, papel, tuercas y arandelas, y artículos de aluminio n.c.p⁵, los cuales se asume corresponden a los productos primarios producidos por las empresas del sector. De acuerdo con el análisis para esta actividad⁶, se asume que la producción se realiza bajo ánodos precocidos y se seleccionaron los factores de emisión por omisión del IPCC, para emisiones de CO₂ y PFC, de esta manera se tomó 1,5 t CO₂ / t de aluminio producido.

Los factores de emisión para los gases dependen de la tecnología usada para la producción. Las emisiones de NOx, CO y SO₂ son producto de la electrólisis y de la cocción de los ánodos para la producción de aluminio. Por lo tanto, para la emisión de CO y SO₂ fue necesario calcular las emisiones con ambos factores tomados por omisión o predefinidos por el IPCC.

Con respecto a las emisiones de CF₄ y C₂F₆:

- FE = 1,4 kg CF₄/ t de aluminio producido.
- FE = 0,14 kg C₂F₆/ t de aluminio producido⁷

Puesto que en el proceso a través de ánodos precocidos no se contó con la información referente sobre si se utiliza precocido central o precocido lateral, se optó por utilizar los factores por omisión sugeridos por el IPCC.

- **Producción de aleaciones ferrosas**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

- FE = 6,5 t CO₂/ t de ferroníquel producido (año 2000).
- 6,6 t CO₂/ t de ferroníquel producido (año 2004).

Consultada la empresa Cerromatoso S.A., se concertó un factor de emisión de 6,5–6,6t CO₂/ t de ferroníquel para este proceso de producción.

3.7.4 Cálculo de otra producción (bebidas, alimentos y pulpa para papel)

- **Cálculo de la categoría bebidas**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de COVDM} = PT * FE$$

Los factores de emisión (FE) usados para la categoría de producción de bebidas se muestran en la Tabla A3.18.

⁵ No clasificado previamente.

⁶ Anexo Técnico del Módulo de procesos industriales. Ideam. 2008.

⁷ Se indica que el valor por omisión para C₂F₆ es 1/10 del valor por omisión para CF₄, es decir 0,14.



Tabla A3.18. Factores de emisión para los COVDM por producción de bebidas

Bebida	Factor de emisión (kg COVDM / hL bebida)
Vino	0,080
Vino tinto	0,080
Vino blanco	0,035
Cerveza	0,035
Bebidas espirituosas	15,000
Whisky de malta	15,000
Whisky de cebada (granos)	7,500
Brandy	3,500

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Se contó con la Encuesta Anual Manufacturera y expertos en algunas categorías, para la precisión de la información requerida. Véase el desarrollo de las consultas en el presente anexo.

Se encuentra procedente, para ejercicios posteriores, facilitar a través de la EAM los datos discriminados de la producción de vinos tintos y blancos; de igual forma aplica para la producción de whisky de malta, de cebada o de otros granos para facilitar la recopilación de la información en la categoría de bebidas.

- **Cálculo categoría alimentos**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Los factores de emisión (FE) usados para la categoría de producción de alimentos se presentan a continuación en la Tabla A3.19.

Tabla A3.19. Factores de emisión para los COVDM por producción de alimentos

Alimento	Factor de emisión (kg COVDM / t alimento)
Carne, pescado y aves	0,30
Azúcar	10,00
Margarinas y grasas sólidas de cocina	10,00
Pasteles, bizcochos y cereales para el desayuno	1,00
Pan	8,00
Pienso para animales	1,00
Tostado de café	0,55

Fuente: Los autores, con metodología de: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Algunas categorías se precisaron a través de consultas con algunos expertos sobre los factores de emisión presentados en la Encuesta Anual Manufacturera.

- **Cálculo categoría producción de pulpa para papel**

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de GEI} = PT * FE$$

Factor de emisión usado:

Para el proceso de producción kraft (al sulfito)

FE = 1,5 kg NOx / t de pulpa producida.

FE = 5,6 kg CO/ t de pulpa producida.
 FE = 3,7 kg COVDM / t de pulpa producida.
 FE = 7 kg SO₂/ t de pulpa producida.

Para el proceso de producción con bisulfito (Tipo: NH₃, Ca, MgO, Na).

FE = 30 kg SO₂/ t de pulpa producida.

Se aclaró con los involucrados que el total de la producción de pastas de otras fibras, es decir, fibras de bagazo y otras, se realiza por el proceso a la soda, por parte de la empresa productora Propal S.A. Por consiguiente, se tomó el total de producción de pulpas de madera correspondiente al proceso Kraft, y el total de las pastas de otras fibras (bagazo) como proceso tipo a la soda con FE = 30 kg SO₂ / t pulpa.

3.7.5 Cálculo categoría utilización de hexafluoruro de azufre (SF₆)

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de SF}_6 = \text{CP} + \text{CIG} + \text{CIP} - \text{CEG} - \text{CEP} - \text{CD}$$

Se solicitó la información a las empresas prestadoras del servicio de transmisión y distribución de la energía eléctrica, inscritas en la Comisión de Regulación de Energía y Gas, y en la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos Domiciliarios y Actividades Complementarias e Inherentes, Andesco.

La estimación de las emisiones de SF₆, se basó en el análisis de la información del contenido de la sustancia en los equipos eléctricos usados en los sistemas de transmisión y en la información de importación de la sustancia a granel para actividades de reparación; adicionalmente, se asumió que en Colombia no se exporta y no hay actividades de destrucción de la sustancia.

3.7.6 Cálculo categoría utilización de sustitutos de las SAO

Ecuación general:

$$\text{Emisiones de sustitutos de SAO} = \text{CP} + \text{CI} - \text{CE} - \text{CD}$$

En esta metodología sólo se considera la sustancia química importada o exportada a granel. Con el apoyo de la Unidad Técnica de Ozono (UTO), se estableció que en el país existe la utilización de sustitutos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) en las actividades de aerosoles, solventes, refrigeración fija y móvil, extinción de incendios, y en la fabricación de espumas.

En Colombia no se produce ningún tipo de HFC ni PFC; la demanda se cubre con importaciones, por consiguiente, el valor de la variable es cero para los años 2000 y 2004. Tampoco se eliminan, recuperan o reciclan estas sustancias, por lo que, esta variable tiene un valor de cero para todas las sustancias sustitutas de SAO⁸. Esta información se analizó en la base de datos del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (BACEX).

Así las cosas, las sustancias a ser reportadas en el Inventario Nacional de HFC y PFC son: HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a y HFC-152a. Con respecto al manejo de los datos que provienen de las mezclas de dos o más sustancias, se tuvo en cuenta la cantidad de cada componente HFC de las mezclas, que se sumó a la cantidad total de la sustancia correspondiente. La realización de los cálculos y las mezclas registradas correspondieron a: HFC-404a, HFC-407c y HFC-507; que se muestra en la Tabla A3.20.

⁸ SÁNCHEZ, P. Inventario nacional de hidrofluorocarbonos HFC y perfluorocarbonos PFC como sustituto de las sustancias agotadoras de ozono (SAO) de los años 2000 y 2004. Tesis de pregrado, Universidad del Bosque. Facultad de Ingeniería Ambiental. Unidad Técnica de Ozono, 2007.

Tabla A3.20. Composición porcentual de mezclas de HFC.

Mezcla	Composición	
	Sustancia HFC	Porcentaje
HFC 404a	HFC-125	44%
	HFC-143a	52%
	HFC-134a	4%
HFC 407c	HFC-125	25%
	HFC-134a	52%
	HFC-32	23%
HFC 507	HFC-125	50%
	HFC-143a	50%

Fuente: Unidad Técnica de Ozono (UTO)

De la base de datos (BACEX) se tomó la información de las empresas que importan tales sustancias. Además, mediante el contacto directo con las empresas que hacen uso de la mayor cantidad de las sustancias de interés, se estableció el uso específico de cada una de ellas. Es decir, con la documentación de importaciones y exportaciones de HFC para los dos años de estudio, la información confirmada vía BACEX y las copias de los documentos suministrados por la DIAN, se consolidó el 60% de la información disponible.

ANEXO 3.2 CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN INFORMACIÓN MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES

Indicador /Nombre	Características del criterio (factor de selección)	Proceso
1. Participación en las emisiones del inventario	A partir del análisis de categorías de fuente realizado como lo especifica el IPCC se da la calificación como el puesto en el que queda del proceso de categorización, de acuerdo con los resultados de la PCN.	Producciones de clinker, amoníaco, ácido nítrico, hierro, acero, cal - caliza (viva), cal dolomita y carburo de calcio.
2. Importancia en la economía local colombiana	De los registros reportados por el DANE de la EAM por producción bruta (para los años del inventario) así como de la participación del sector en las exportaciones del país, se puede establecer la relevancia del proceso aquí.	Producción de cemento, pulpa para papel, usos de carbonato de sodio, ácido sulfúrico, polipropileno, bebidas espirituosas, azúcar, café tostado y ferromniquel.
3. Dificultad en obtener la información	Este criterio buscó evaluar si existía un registro histórico de información para el inventario de GEI, y la disponibilidad de datos en Internet o en instancias de fácil acceso y si está establecida una participación de las instituciones involucradas en la obtención de información. Así, se tuvo en cuenta si la búsqueda de información requería de un mayor esfuerzo en la gestión de la información.	Producción de aluminio, carbonato de sodio, hierro, acero, utilización de sustitutos de SAO, utilización de hexafluoruro de azufre.
4. Innovación en el inventario	Determinación de si el proceso considerado, es nuevo respecto al inventario anterior	Utilización de piedra caliza y piedra dolomita; producción de whisky y ácido Adtípico; pavimentación; producción de carburo de silicio, resinas ABS, 1,2 dicloroetano, etilbenceno, aleación de ferrosilicio 50% Si, aleación de ferrosilicio 75% Si, aleación de ferrosilicio 90% Si, metal silicio, ferro-manganeso; utilización de SF ₆ en metalurgia, SF ₆ en equipos eléctricos, usos de carburo de calcio; producción de etileno, propileno, acrilonitrilo, níquel, estaño, plomo, zinc, dicloroetileno, bebidas espirituales, brandy; utilización de sustitutos de SAO, y producción de ferromniquel.
5. Mejora en la certidumbre	Se estableció si era pertinente realizar una inversión en tiempo para la búsqueda de información detallada que mejorara la certidumbre como valor agregado para el inventario general	Producción de: asfalto para techado, asfalto para pavimentación, vino, polietileno (baja, media y alta densidad), vidrio, negro de humo, estireno, cloruro de polivinilo, formaldehído, anhídrido ftálico, poliestireno, coque, metanol, dióxido de titanio, cerveza, carne, pescado y pollo; tortas, bizcochos y cereales; pan, café tostado, comida animal y margarina

Fuente: Los autores, 2007.

ANEXO 3.3 IMPORTANCIA DEL PROTOCOLO DE MONTREAL EN LA REDUCCIÓN DE GEI

ELABORÓ:
ING. JORGE ENRIQUE SÁNCHEZ SEGURA.
COORDINADOR NACIONAL UNIDAD TÉCNICA DE OZONO ADSCRITA AL MAVDT.

El Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC, sobre el estado del clima mundial, ha causado gran revuelo en los medios de comunicación, la academia, los políticos y, en general, en la comunidad. Dicha comunicación destaca el hecho de que ya no existe duda del efecto causado por los gases efecto invernadero (GEI) en el cambio del clima. En este sentido, las emisiones de origen humano han sido ponderadas frente a las de origen natural, mostrando que los GEI emitidos por los seres humanos son responsable, en gran medida, de lo que está sucediendo con el clima.

Por otra parte, podría haber confusión en el ciudadano común sobre cuáles son los GEI y cuál es su papel en la perturbación del clima. El Protocolo de Kyoto involucra seis grupos de sustancias que son de su interés: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), compuestos hidrofluorocarbonados (HFC), compuestos perfluorocarbonados (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Sin embargo, estas sustancias no son las únicas que provocan efecto invernadero. Existe otro grupo de sustancias que también produce el mismo efecto y, además, destruyen el ozono estratosférico son las Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO). La razón para que las SAO no sean consideradas en los grupos de GEI de interés de Kyoto, es que las SAO son controladas por el Protocolo de Montreal. Este último acuerdo ambiental multilateral fue anterior al Protocolo de Kyoto y por considerar cronogramas específicos de reducción hasta la eliminación completa de la producción y el consumo de las SAO, se decidió en la negociación de Kyoto, no incluirlos allí, con el fin de evitar duplicidad de esfuerzos en la eliminación de estas sustancias. En la siguiente tabla se presentan algunas SAO, con el correspondiente Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO), el Potencial de Calentamiento Global (PCG) y el tiempo de vida en la atmósfera.

PAO, PCG y tiempo de vida de algunas SAO

Sustancia	PAO*	PCG**	Tiempo de vida (años)
CFC-12	1,0	10.720	100
CFC-11	1,0	4.680	45
HCFC-141b	0,11	713	9,3
HCFC-22	0,055	1.780	12
HCFC-123	0,02	76	1,3
Halón-1301	10,0	7.030	85

Fuente: Compilación de varias fuentes por el autor, 2007.

* PAO: Potencial de agotamiento de ozono. Tiene como referencia al CFC-11, que se le da el valor de 1.

** PCG: Potencial de calentamiento global. Tiene como referencia la molécula de CO_2 , a la que se le da el valor de 1.

De la tabla anterior se puede deducir, por ejemplo, que una molécula de CFC-12 tiene el mismo impacto que 10.720 moléculas de CO₂ sobre el clima. De esta manera, cuando se eliminan los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), los compuestos hidroclorofluorocarbonados (HCFC) y los halón, se tienen beneficios muy importantes tanto para la protección de la capa de ozono, como para la protección del calentamiento global.

En un artículo publicado recientemente, Velders, Andersen *et. al.*⁹, calculan que en el año 1975 las SAO correspondieron a un 42% de los GEI emitidos ese año. Igualmente, plantean que sin el efecto del Protocolo de Montreal, en el año 2010, las SAO alcanzarían entre el 42 y el 62% de los GEI equivalentes de dicho año. La tendencia real hacia el año 2010 es que el impacto de las SAO en las emisiones globales de GEI no superará el 5%. De la misma manera, por efecto de la implementación del Protocolo de Montreal, se calcula que el equivalente de GEI que sería eliminado al eliminar las SAO en el periodo 1990 a 2010 es de 8 Gt CO₂/ año. Esta reducción, la cual ya ha ocurrido, es sustancialmente mayor que el primer objetivo de reducción de Kyoto, aun considerando un efecto indirecto de calentamiento por la destrucción de la capa de ozono y las emisiones de HFC. Esto demuestra que el impacto del Protocolo de Montreal ha sido decisivo en la emisión de GEI y en el forzamiento radiactivo.

Por otra parte, en la implementación del Protocolo de Montreal, cuando se planteó la necesidad de eliminar la producción y el consumo de los CFC, la investigación tecnológica llevó a la búsqueda preferencial de sustancias que tuvieran muy bajo PAO; situación que impulsó en el sector de refrigerantes a sustituir el CFC-12 por el HFC-134a. Esta última sustancia tiene PAO igual a cero y por lo tanto, no afecta la capa de ozono sin embargo, tiene alto PCG, siendo un GEI de alto interés en el Protocolo de Kyoto. La mayoría de los países en vía de desarrollo siguieron este camino, debido a que era la oferta tecnológica que existía en la época en la cual comenzó la eliminación de los CFC.

En el caso de los sistemas de aislamiento térmico y fabricación de espumas, el agente soprante preferido era el CFC-11 y la sustitución se dio en este caso hacia el HCFC-141b (PAO = 0,11). Es necesario mencionar que los HCFC son considerados en el Protocolo de Montreal como sustancias de transición, pues tienen PAO muy inferior a los CFC, pero aún son agotadores de ozono y tienen un cronograma de eliminación que deberá comenzar en el año 2015 y finalizar en el 2040. Para el caso de los halón, en la actualidad sus principales sustitutos son HCFC, HFC ó PFC, todas estas sustancias tienen PCG que van desde 0,5 a valores muy altos.

El Protocolo de Montreal considera en su implementación la eliminación del consumo de SAO, el cual es definido con la siguiente expresión:

$$\text{Consumo} = \text{Producción} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

En Colombia, donde no se producen SAO y las exportaciones de estas sustancias son casi nulas, la eliminación del consumo se reduce a la eliminación de las importaciones. Debido a que el Protocolo de Montreal no obliga a eliminar el uso de las SAO, se puede crear un conflicto cuando se analiza la situación de los equipos con varios años de fabricación, que aún contienen SAO, por ejemplo, los refrigeradores domésticos viejos (anteriores a 1997) que aún tienen CFC, y que en Colombia son cerca de cuatro millones de unidades. La sustitución de estos equipos y la disposición final de los anteriores representa un verdadero desafío, pues hasta el momento no existen acuerdos dentro del Protocolo de Montreal para apoyar estas tareas. La cantidad de CFC que está instalado en los equipos viejos en Colombia, y en el mundo, podría causar graves daños si es liberada a la atmósfera, por sus efectos sobre la capa de ozono y el clima.

⁹ *The importance of Montreal Protocol in protecting climate.* G.M. Velders, S.O. Andersen; J.S. Daniel; D.W. Fahey; M. McFarland. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America; March 8, 2007.

Estas reflexiones han llevado a que los dos acuerdos (Montreal y Kyoto) generen espacios de discusión y concertación para garantizar que el futuro sea propicio para las nuevas medidas que faciliten la eliminación sincronizada de las SAO y los GEI. Durante las últimas discusiones se han planteado algunas ideas:

- Acelerar la eliminación de los HCFC, anticipando el inicio de su cronograma de eliminación, generando nuevas medidas tanto de control como de apoyo a la eliminación en los países en vías de desarrollo. En el año 2008 se planteó la discusión de varias propuestas para la Enmienda del Protocolo de Montreal en dicho sentido.
- Desarrollar proyectos apoyados por ambos protocolos para la recolección de los equipos viejos con SAO, la chatarrización adecuada, incluyendo la destrucción de las SAO resultantes de dicho proceso. Debido a la mejora significativa en la eficiencia energética de los nuevos refrigeradores, habría además una disminución indirecta de GEI, con lo cual, estos proyectos podrían ser parcialmente financiados como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Reconversión tecnológica de la producción de refrigeradores que usan HFC por refrigerantes a partir de hidrocarburos. Estos proyectos podrían ser eventualmente presentados para su financiación como MDL, financiados por el Protocolo de Kyoto.
- Búsqueda tecnológica de productos con PAO igual a cero y muy bajo PCG. Una alternativa la constituyen los hidrocarburos, usados ampliamente como refrigerantes y como agentes espumantes, principalmente en Europa. En Colombia, la empresa más grande fabricante de espumas de poliestireno (icopor) realizó esta reconversión tecnológica usando butano como agente espumante. Sin embargo, las principales dificultades para el uso de hidrocarburos están en los casos donde la refrigeración exige valores de temperaturas muy bajas.

Todos estos análisis llevan a reflexionar sobre la importancia de considerar la atmósfera como un único compartimiento ambiental, de cuya estabilidad depende la vida como hoy se conoce. Los dos protocolos, Kyoto y Montreal, se orientan en un esfuerzo de coordinación para garantizar el objetivo común: proteger la atmósfera para que la vida humana continúe.



