

7

CAPÍTULO SIETE

MÓDULO DE INCERTIDUMBRE

Autora
SHIRLEY CASTILLO DÍAZ



Coordinadores del Capítulo

Mauricio Cabrera L.
María Margarita Gutiérrez Arias
Martha Duarte O.

Supervisión

Martha Duarte O.

Foto 7.1. Portada Capítulo 7. Panorámica del centro de Bogotá, vista desde los Cerros Orientales. Mauricio Cabrera L. 2009.

CONTENIDO

	Página
7.1 CUANTIFICACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES	325
7.2 METODOLOGÍAS PARA COMBINAR LAS INCERTIDUMBRES	325
7.3 MÉTODO DE PROPAGACIÓN DE ERRORES	327
7.4 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO	327
7.5 INCERTIDUMBRE EN LA TENDENCIA	328
7.6 RESULTADOS CONSOLIDADOS	328
7.7 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE ENERGÍA	329
7.8 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES	329
7.9 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE AGRICULTURA.....	332
7.10 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA.....	335
7.11 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE RESIDUOS	336
7.12 RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL NIVEL DE CERTIDUMBRE EN PROCESOS POSTERIORES	338
BIBLIOGRAFÍA	340
CONTENIDO DE TABLAS	
Tabla 7.1 Identificación de las incertidumbres en el inventario nacional de GEI	327
Tabla 7.2 Reporte general de incertidumbres	329
Tabla 7.3 Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ del Módulo de energía	330
Tabla 7.4 Incertidumbre de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ eq. Módulo de energía.....	331
Tabla 7.5 Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CO ₂ del Módulo de energía ..	331
Tabla 7.6 Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ eq del Módulo de energía	331
Tabla 7.7 Incertidumbre de las emisiones de CH ₄ y N ₂ O en CO ₂ eq del módulo de procesos industriales	332



	Página
Tabla 7.8. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ del Módulo de procesos industriales	332
Tabla 7.9. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH ₄ y N ₂ O en CO ₂ eq del Módulo de procesos industriales	333
Tabla 7.10. Incertidumbre de las emisiones de Hidrocarburos halogenados y SF ₆ en CO ₂ eq del Módulo de procesos industriales	333
Tabla 7.11. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de Hidrocarburos Halogenados y SF ₆ en CO ₂ eq del Módulo de procesos industriales	333
Tabla 7.12. Incertidumbre de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ eq del Módulo de agricultura ...	334
Tabla 7.13. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ equivalente del Módulo de agricultura	334
Tabla 7.14. Incertidumbre de las emisiones de N ₂ O en CO ₂ eq del Módulo de agricultura ...	335
Tabla 7.15. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de N ₂ O en CO ₂ eq del Módulo de agricultura	335
Tabla 7.16. Incertidumbre de las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en CO ₂ eq del Módulo de USCUS	336
Tabla 7.17. Incertidumbres en la tendencia de las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en CO ₂ eq del Módulo de USCUS	337
Tabla 7.18. Incertidumbre de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ equivalente del Módulo de residuos	338
Tabla 7.19. Incertidumbre de las emisiones de N ₂ O en CO ₂ equivalente del Módulo de residuos	338
Tabla 7.20. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH ₄ en CO ₂ equivalente del Módulo de residuos	338
Tabla 7.21. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de N ₂ O en CO ₂ equivalente del Módulo de residuos	338
 CONTENIDO DE FIGURAS	
Figura 7.1. Estrategia de cálculo de la incertidumbre	326
 CONTENIDO DE CUADROS	
Cuadro 7.1. Tratamiento de la incertidumbre	327
 CONTENIDO DE FOTOS	
Foto 7.1. Panorámica del centro de Bogotá, vista desde los Cerros Orientales. Mauricio Cabrera L. 2009.	321

INTRODUCCIÓN

En la estimación de un inventario de gases de efecto invernadero por lo general se encuentra que las emisiones y absorciones calculadas pueden diferir de las emisiones y absorciones reales, debido, entre otros factores, a la falta de representatividad y exhaustividad de las fuentes de datos, errores de medición en la producción, utilización de insumos o consumo, precisión de los instrumentos de medición, falta de respuesta en encuestas o censos, asignación de factores de emisión por omisión o defecto (default) que no reflejan las condiciones nacionales o, simplemente, por la variación natural del proceso de emisión (aleatoriedad). A esta diferencia se le conoce como *incertidumbre*.

Los coeficientes de variación, los errores relativos en muestreos, las imprecisiones en los instrumentos de medición, la proporción de la varianza no explicada por modelos de regresión y las incertidumbres de los factores de emisión por defecto del IPCC, se tomaron como medidas de incertidumbre para el presente inventario. Adicionalmente, el dictamen de expertos se utilizó como una metodología para obtener incertidumbres cuando éstas no eran explícitas.

7.1 CUANTIFICACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES

El IPCC (2005), define incertidumbre para los inventarios de emisiones como un término general que se refiere a la falta de certeza. En términos prácticos podría considerarse como la diferencia entre la cifra real y la estimada ajustada por su valor real:

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

Donde:

- μ = es la incertidumbre
- $E(\chi)$ = es el valor estimado y
- X = es el valor real

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

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

Donde:

- σ = Es una medida de dispersión o de heterogeneidad que indica cuánto se desvía cada dato con respecto a su parámetro (promedio).
- $\bar{\chi}$ = Es el promedio de la variable de análisis.



En la estimación del inventario nacional de GEI para los años 2000 y 2004, se contó con cifras oficiales. Sólo en algunos casos específicos se utilizaron datos segmentados, de allí que la implementación de coeficientes de variación no es la más acertada. En lugar de utilizar el coeficiente de variación tradicional, se construyeron medidas de incertidumbre con base en las fuentes identificadas y ponderadas por el parámetro (producción o consumo real).

Las incertidumbres de los factores de emisión por omisión o defecto (default) se presentan, generalmente, como intervalos de confianza (IC) del 95%:

$$IC = \bar{X} \pm \sigma Z_{\alpha/2}$$

Donde:

\bar{X} = Es el factor de emisión medio.

σ = Es la desviación estándar del factor de emisión.

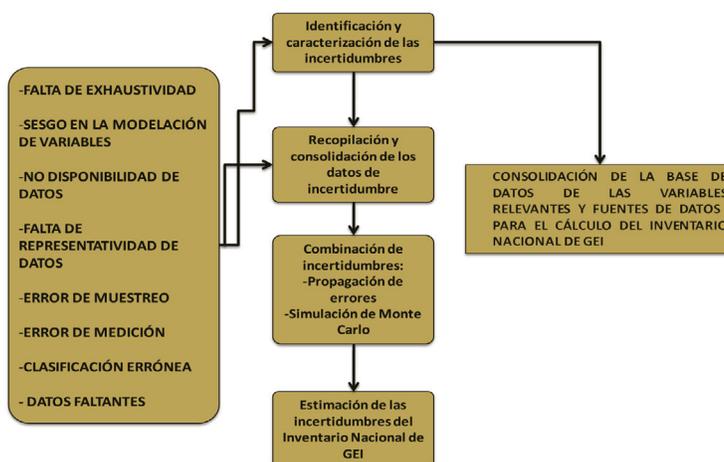
$Z_{\alpha/2}$ = Es el valor de la distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

La diferencia entre el límite superior e inferior del intervalo de confianza se conoce como el rango del intervalo de confianza. De aquí se deduce la siguiente expresión:

$$u = \frac{(\text{Límite superior} - \text{Límite inferior})/2}{\bar{X}}$$

La estructura organizativa para adelantar el cálculo de incertidumbre se presenta en la Figura 7.1.

Figura 7.1. Estrategia de cálculo de la incertidumbre



Fuente: IDEAM, 2008

Esta Figura describe los pasos necesarios para el cálculo de la incertidumbre, que de forma resumida consta de los siguientes pasos:

1. Construcción de la base de datos de las variables relevantes en el cálculo del inventario, las cuales fueron clasificadas en datos de la actividad y factores de emisión.
2. Identificación de la(s) causa(s) de la incertidumbre de los datos de entrada del inventario con su fuente de información (véase la Tabla 7.1).
3. Recopilación de las incertidumbres de los datos de entrada del inventario.

4. Combinación de las incertidumbres por el método de propagación de errores.
5. Cálculo de la incertidumbre por módulo, categoría de fuente y gas.

Tabla 7.1. Identificación de las incertidumbres en el inventario nacional de GEI

Fuentes de información del inventario nacionales de emisiones de GEI	Identificación de las incertidumbres en el inventario nacionales de emisiones de GEI	Cuantificación de las incertidumbres
Datos de las actividades económicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de la cosecha comercial de leña • Producción en actividades industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de lo que no calcula la fuente: (desviación) sobre el total reportado. • Cálculo de la exhaustividad de la fuente e imprecisiones en el pesado de la producción industrial, por dictamen de expertos.
Censos y encuestas exhaustivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Censo de población. • Encuesta anual manufacturera. 	
Diseños de experimentos.	<ul style="list-style-type: none"> • Inventario pecuario. • Plantaciones forestales. 	Razón entre la desviación estándar y la media. Se asume representatividad de la fuente.
Modelos de regresión.	Formas cuadráticas en el ajuste entre oferta y demanda de combustibles. Incrementos de biomasa.	Porcentaje de la varianza no explicada por el modelo.
	Interpolaciones lineales en consumo de combustibles en rutas internacionales.	Diferencia entre el consumo real y el estimado de rutas internacionales.
Mapas de cobertura y usos del suelo. Imágenes satelitales.	Escala de medición.	<ul style="list-style-type: none"> • Imprecisión planimétrica. Se asume que se ha corregido la imprecisión temática¹ • Imprecisión de la imagen satelital para la estimación de la producción de cultivos ilícitos

Fuente: IDEAM, 2008

7.2. METODOLOGÍAS PARA COMBINAR LAS INCERTIDUMBRES

Las buenas prácticas para la elaboración de inventarios y manejo de la incertidumbre proponen dos métodos generales para la combinación de incertidumbres relacionadas con el dato de la actividad y los factores de emisión: el método de propagación de errores y la simulación de Monte Carlo.

Cuadro 7.1. Tratamiento de la incertidumbre

El conjunto de términos para tratar las incertidumbres del conocimiento actual es común a todas las partes de Cuarta evaluación del IPCC, basado en la Guía para autores principales del informe de la Cuarta evaluación del IPCC sobre tratamiento de la incertidumbres², elaborado por el IPCC en julio de 2005.

Descripción de la probabilidad: Es la evaluación de algunos resultados muy bien definidos que han ocurrido o que ocurrirán en el futuro y puede basarse en análisis cuantitativos o en juicios de expertos. Cuando los autores evalúan la probabilidad de ciertos resultados, los significados asociados son:

Terminología

Prácticamente cierto
Muy probable
Probable
Tan probable como no probable
Improbable
Muy improbable
Excepcionalmente improbable

Probabilidad de que se produzca el resultado

> 99% de probabilidad que se produzca
de 90% a 99% de probabilidad
de 66% a 90% de probabilidad
de 33% a 66% de probabilidad
de 10% a 33% de probabilidad
de 1% a 10% de probabilidad
< 1% de probabilidad.

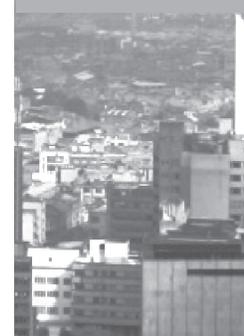
Fuente: IPCC. Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto informe de evaluación del IPCC. Cambridge, R.U.: Parry, O., et al. p. 2007.

7.3 MÉTODO DE PROPAGACIÓN DE ERRORES

Las normas de propagación de las incertidumbres establecen la forma de combinar de manera algebraica las medidas cuantitativas de la incertidumbre vinculadas con los valores de entrada de las

1 Imprecisión planimétrica se refiere a la precisión y exactitud espacial de un mapa topográfico y en especial de un mapa a gran escala.

2 Véase <http://www.ipcc.ch/activity/uncertaintyguidancenote.pdf>



fórmulas matemáticas utilizadas en la compilación de los inventarios, con el fin de obtener las medidas correspondientes de la incertidumbre de los valores de salida: emisión por módulo (IPCC, 1996). La incertidumbre combinada resulta de extraer la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del dato de la actividad y el factor de emisión.

7.4 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

La simulación de Monte Carlo es un método no determinístico (probabilístico) que requiere la identificación (estimación) de las entradas (parámetros) del modelo a las que se debe asignar o ajustar las distribuciones de probabilidad³ para la estimación de la incertidumbre de las emisiones. Una vez determinadas las variables de entrada y su distribución de probabilidad se lleva a cabo un experimento que consiste en generar muestras aleatorias de las variables de entrada para analizar el comportamiento de las emisiones ante los valores generados. El método calcula las emisiones de una muestra aleatoria de datos de actividad y factores de emisión, a los cuales se les ha asignado una función de distribución de probabilidad y las incertidumbres en los factores de emisión y datos de actividad. Se repite el procedimiento n veces y se obtienen n estimaciones de las emisiones. El programa se detiene cuando encuentra una diferencia entre las medias de las emisiones estimadas inferior a un nivel dado (por ejemplo $\pm 1\%$).

La ventaja de la simulación frente al método de propagación de errores es que permite asignar funciones de densidad de probabilidad de cualquier forma y amplitud, manejar diversos grados de correlación y abordar modelos más complejos. Sin embargo, requiere de información más detallada. Los inventarios de emisiones de GEI de Colombia, para los años 1990, 1994, 2000 y 2004 no cuentan con la información necesaria para utilizar la simulación de Monte Carlo. Por consiguiente, se estiman las incertidumbres por medio de dos sensibilidades:

Sensibilidad del tipo A. Es el cambio en la diferencia de las emisiones totales entre el año base y el año actual, expresado como porcentaje, resultado de un incremento del 1% de las emisiones o absorciones de una categoría dada y el gas en el año de base y el año actual.

Sensibilidad del tipo B. Es el cambio en la diferencia de las emisiones totales entre el año base y año actual expresado como porcentaje, resultado de un incremento del 1% de las emisiones o absorciones de una categoría dada y el gas solamente en el año actual.

7.5 INCERTIDUMBRE EN LA TENDENCIA

Además de las incertidumbres del inventario, es importante considerar las incertidumbres en la tendencia. Interesa conocer cómo cambia la diferencia porcentual entre las emisiones del año base (2000) y el año en curso (2004), en respuesta a un aumento del 1% en las emisiones en cada categoría de fuente, tanto del año base como del año en curso. El primer cálculo muestra la sensibilidad de la tendencia de las emisiones a una incertidumbre sistemática en la estimación de las emisiones (o sea, una incertidumbre correlacionada entre el año base y el año en curso). En el segundo cálculo, la sensibilidad en la tendencia de las emisiones depende de un error aleatorio en la estimación de las emisiones (no hay correlación entre las incertidumbres de los años evaluados), IPCC (2005). Los resultados se presentan por categoría de fuente y gas.

³ Conocer sus primeros momentos centrales: media y desviación estándar.

7.6 RESULTADOS CONSOLIDADOS

En la Tabla 7.2, se presentan las incertidumbres combinadas como proporción de las emisiones de GEI medidas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) para los cinco módulos, las cuales fueron calculadas para cada una de las variables involucradas en la estimación de las emisiones por categoría de fuente y gas, y agregadas por el método de propagación de errores.

Es procedente resaltar que los porcentajes de incertidumbres obtenidos son válidos para los dos años del inventario, ya que representan las imprecisiones e inexactitudes en las fuentes de información consultadas.

Tabla 7.2. Reporte general de incertidumbres

Módulo\Gas	Incertidumbre combinada como porcentaje de las emisiones totales en Gg CO ₂ eq					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Energía	28,96	358,22	15,65			
Procesos industriales	18,52	101,89	9,00	16,73	16,06	78,85
Agricultura		21,97	138,03			
Cambio en el uso de la tierra y silvicultura	79,86	119,08	119,08			
Residuos		41,92	240,17			

Fuente: IDEAM, 2008

Las incertidumbres para el dato de la actividad son relativamente bajas en los módulos de agricultura (con excepción de suelos agrícolas, que alcanza una incertidumbre de 139% por cultivos en histosoles⁴), energía, procesos industriales y residuos. El porcentaje de imprecisión e inexactitud en las fuentes de información oscila entre 0% y 22%. Por su parte, el Módulo de uso de la tierra y silvicultura presenta porcentajes de incertidumbres en el dato de la actividad que varían entre 0,3% y 53%, debido a factores naturales no controlables (clima, temperatura, tipo de especie, etc.) que presentan alta variabilidad y a las múltiples fuentes de información requeridas para su obtención.

Las incertidumbres por omisión o defecto (default) del factor de emisión de CO₂ resultan a menudo ser más pequeñas y cuantificadas que las de CH₄ y N₂O, afectando especialmente la exactitud en las emisiones fugitivas del Módulo de energía. A pesar de los esfuerzos por reducir las incertidumbres de los factores de emisión, éstas dependen de la obtención de los mismos de manera directa. No obstante, Colombia no dispone en la mayoría de los casos de los recursos físicos y tecnológicos para mediciones periódicas insitu.

Para otros gases como COVDM⁵, NO_x, CO y SO₂ no se realizó una cuantificación de la incertidumbre. El IPCC no dispone de incertidumbres por omisión o defecto y, como ya se mencionó, en el país no existe la forma y las condiciones para adelantar tal investigación.

7.7 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE ENERGÍA

Las incertidumbres en los datos de la actividad están relacionadas y/o derivadas principalmente de las siguientes fuentes:

- Imprecisión en las estimaciones del Balance Energético Nacional (BEN).
- Manual de control de calidad de la información volumétrica en las operaciones de producción, distribución y almacenamiento de combustibles de Ecopetrol.

4 Histosol: Orden de suelo (según clasificación del Departamento de Agricultura de los EUA). Su característica es un contenido mínimo de carbono orgánico de 12%, cuando la porción mineral no es arcilla, aumentando a 18% si la porción mineral es 60% o más de arcilla, para suelos formados en o debajo del agua. Donahue, R., et al. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Madrid: Prentice-Hall, 1977. p. 411.

5 COVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano.



- Registros de las distribuidoras de combustibles para el consumo en rutas internacionales por vía aérea y marítima.
- Reportes de producción de carbón en bruto y vendible de Ingeominas.
- Estimación del consumo de combustible en áreas urbanas pequeñas con base en la población que reporta el DANE de la población en áreas urbanas pequeñas y el incremento en el consumo de leña de la UPME.

Las incertidumbres en el factor de emisión obedecen básicamente a:

- Reportes de la incertidumbre de los factores de emisión por defecto del IPCC (1996) para países en desarrollo y economías en transición.

Las incertidumbres de las emisiones fugitivas en el factor de emisión son las más altas del módulo, con 75% en CO₂ y hasta 883,54% en CH₄; mientras que los combustibles, en general, presentan una incertidumbre entre 6% y 23%. El dato de la actividad presenta una magnitud de 5%, resultado de la diferencia en el ajuste entre oferta y demanda de combustibles. La incertidumbre en el dato de la actividad no se agrega por el método de propagación de errores, ya que en todas las categorías el porcentaje de incertidumbre aplica para el total y se distribuye de igual manera para todos los combustibles que se estiman por el Balance Energético Nacional (BEN). Véase la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ del Módulo de energía

Categorías de fuentes y sumideros de gases efecto invernadero	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales	Gg eq. CO ₂	Gg eq. CO ₂	%	%	%	%
1. ENERGÍA	57.942,32	57.001,82	5,00	80,43	80,59	28,96
A. Quema de combustibles fósiles	56.961,86	55.921,95	5,00	29,06	29,48	28,93
1. Industrias de la energía	16.810,58	15.249,84	5,00	21,00	21,59	5,78
2. Industria manufacturera y de la construcción	13.866,49	13.037,62	5,00	14,90	15,72	3,59
3. Transporte	19.838,80	21.614,49	5,00	11,30	12,36	4,69
4. Otros sectores (Comercial/Institucional, residencial y agropecuario)	6.445,99	6.020,00	5,00	7,32	8,86	0,94
B. Emisiones fugitivas	980,46	1.079,87	5,00	75,00	75,17	1,42
3. Venteo y flameado	980,46	1.079,87	5,00	75,00	75,17	1,42

Fuente: IDEAM, 2008

Teóricamente, las incertidumbres en las emisiones por quema de biomasa tienden a ser más altas que en las otras categorías de fuente del módulo; no obstante, y como se ha explicado a través del documento, los factores de emisión por omisión o defecto traen consigo una incertidumbre asociada con la poca representatividad de las condiciones nacionales, por lo tanto, y teniendo en cuenta la magnitud de las emisiones de la categoría, las incertidumbres de las emisiones fugitivas son las más altas del módulo, incluyendo las incertidumbres en la tendencia. Véase la Tabla 7.4.

Se debe tener presente que las incertidumbres en la tendencia son gobernadas por las incertidumbres en el factor de emisión en la categoría de fuente de emisiones fugitivas y por el dato de la actividad en las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y biomasa. No obstante, tienen mayor impacto las incertidumbres en el factor de emisión. Véanse las Tablas 7.5 y 7.6.

Tabla 7.4. Incertidumbre de las emisiones de CH₄ en CO₂ eq. Módulo de Energía

Categorías de fuentes y sumideros de gases efecto invernadero	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el FE	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales	Gg de CO ₂ eq	Gg eq de CO ₂	%	%	%	%
1. ENERGÍA	7.251,72	8.662,29	16,14	884,32	884,47	358,22
A. Quema de combustibles fósiles	154,14	153,09	5,00	29,06	29,48	0,14
1. Industrias de la energía	7,35	6,93	5,00	21,00	21,59	0,02
2. Industria manufacturera y de la construcción	24,57	22,68	5,00	14,90	15,72	0,04
3. Transporte	89,46	92,19	5,00	11,30	12,36	0,13
4. Otros sectores (Comercial/Institucional, residencial y agropecuario)	32,76	31,29	5,00	7,32	8,86	0,03
B. Emisiones fugitivas	6.543,18	8.073,24	5,02	883,54	883,55	358,22
1. Minería del carbón	3.279,99	4.617,27	3,00	180,28	180,30	96,11
2. Petróleo y gas natural	3.263,19	3.455,97	4,03	864,95	864,96	345,09
C. Quema de biomasa	554,40	435,96	14,50	23,22	27,38	138

Fuente: IDEAM, 2008

Tabla 7.5. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CO₂ del Módulo de energía

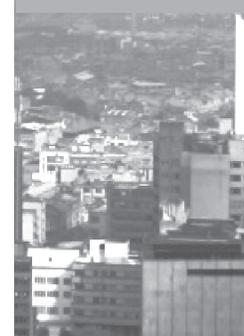
Categorías de fuentes y sumideros de Gases de Efecto Invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones introducida por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
1. Energía					
A. Quema de combustibles fósiles	-0,00197	0,9751	-0,06	7,07	7,07
1. Industria de la energía	-0,02216	0,2632	-0,66	7,07	7,10
2. Industria manufacturera y de la construcción	-0,01040	0,2250	-0,22	7,07	7,07
3. Transporte	0,03608	0,3730	0,58	7,07	7,09
4. Otros sectores (Comercial/Institucional, residencial y agropecuario)	-0,00554	0,1039	-0,06	7,07	7,07
B. Emisiones fugitivas	0,0019	0,0186	0,21	7,07	7,07
3. venteo y flameado	0,0019	0,0186	0,21	7,07	7,07

Fuente: IDEAM, 2008

Tabla 7.6. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH₄ en CO₂ eq del Módulo de energía

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
1. Energía					
A. Quema de combustibles fósiles	-0,00428	0,0211	-0,18	7,07	7,07
1. Industria de la energía	-0,00026	0,0010	-0,01	7,07	7,07
2. Industria manufacturera y de la construcción	-0,00092	0,0031	-0,02	7,07	7,07
3. Transporte	-0,00202	0,0127	-0,03	7,07	7,07
4. Otros sectores (Comercial/Institucional, residencial y agropecuario)	-0,00108	0,0043	-0,01	7,07	7,07
B. Emisiones fugitivas	0,03517	1,1133	43,94	7,11	44,51
1. Minería del carbón	0,09599	0,6367	24,47	4,24	24,84
2. Petróleo y gas natural	-0,06067	0,4766	-74,22	5,70	74,43
A. Quema de biomasa	-0,03118	0,0601	-1,02	20,51	20,53

Fuente: IDEAM, 2008



7.8 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES

Las incertidumbres de los datos de actividad están relacionadas y/o provienen principalmente de las siguientes fuentes:

- Encuesta Anual Manufacturera del DANE.
- Dictamen de expertos sobre la representatividad del nivel de la producción e imprecisión en el empaque de la producción de cemento y clinker, metalurgia y ácido nítrico.
- Dictamen de expertos sobre la representatividad de los registros aduaneros administrativos de la DIAN.
- Coeficiente de variación de la muestra del consumo de SF₆ de las electrificadoras nacionales.

Las incertidumbres en el factor de emisión se relacionan y/o asocian con:

- Incertidumbres por defecto IPCC (1996).
- Coeficiente de variación de la emisión de N₂O procedente de la producción de ácido nítrico, según mediciones en planta.

El módulo de procesos industriales presenta los menores niveles de incertidumbre combinada para los tres gases más importantes de efecto invernadero. Los productos químicos generadores de CH₄ tienen niveles de incertidumbre superiores a 50% en sus factores de emisión, lo cual eleva la incertidumbre en la categoría a 101,73%; mientras que la incertidumbre combinada en la emisión de N₂O es reducida por la calidad de la medición en planta del factor de emisión (8,77%). Lo anterior refleja la importancia de contar con factores de emisión específicos para el país. Véase la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Incertidumbre de las emisiones de CH₄ y N₂O en CO₂ eq del Módulo de procesos industriales

Categorías de fuentes y sumideros de gases efecto invernadero	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales		Gg de CO ₂ equivalente	Gg de CO ₂ equivalente	%	%	%	%
1. Procesos industriales		18,69	18,27	5,74	101,73	101,89	101,89
B. Productos químicos	CH ₄	18,69	18,27	5,74	101,73	101,89	101,89
2. Procesos industriales		341,00	418,50	2,00	8,77	9,00	9,00
B. Productos químicos	N ₂ O	341,00	418,50	2,00	8,77	9,00	9,00

Fuente: IDEAM, 2008

La incertidumbre en los productos minerales no metálicos, específicamente producción y utilización de piedra caliza es de 22,29%, debido a que las fuentes de información utilizadas no contemplan las pequeñas empresas dedicadas a estas actividades. Véase la Tabla 7.8.

Tabla 7.8. Incertidumbre de las emisiones de CO₂ del Módulo de procesos industriales

Categorías de fuentes y sumideros de gases efecto invernadero	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión (FE)	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales	Gg equivalente de CO ₂	Gg equivalente de CO ₂	%	%	%	%
1. Procesos Industriales	5.871,51	6.905,36	22,93	32,27	39,59	18,52
A. Productos minerales no metálicos	3.263,05	3.505,93	22,29	16,74	27,88	14,15
B. Productos químicos	123,01	164,02	2,00	11,66	11,83	0,28
C. Producción de metales	2.485,45	3.235,41	5,00	25,00	25,50	11,95

Fuente: IDEAM, 2008

La incertidumbre en la tendencia para la categoría de productos químicos es del orden de 8,12%, debido en parte a que la diferencia porcentual entre las emisiones entre los años evaluados es pequeña y no se ve afectada por la incertidumbre en el factor de emisión. Véase la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH₄ y N₂O en CO₂ eq del Módulo de procesos industriales

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Gas	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales		%	%	%	%	%
2. Procesos industriales						
B. Productos químicos	CH ₄	0.00000	0.9663	0.00	8.12	8.12
2. Procesos industriales						
B. Productos químicos	N ₂ O	0.00000	1.2273	0.00	2.83	2.83

Fuente: IDEAM, 2008

Los hidrocarburos halogenados y SF₆, tienen una incertidumbre combinada frente al total de las emisiones de 53,85% (Ver Tabla 7.10). La mayor contribución la hace la emisión de SF₆, debido a los altos niveles de incertidumbre en el consumo del gas por las electrificadoras nacionales. Cabe anotar que el dato corresponde a cuatro electrificadoras, de un total de 37 que presentan alta dispersión de sus datos de consumo.

Tabla 7.10. Incertidumbre de las emisiones de hidrocarburos halogenados y SF₆ en CO₂ eq del Módulo de procesos industriales

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión (FE)	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales		Gg equivalente de CO ₂	Gg equivalente de CO ₂	%	%	%	%
2. Procesos Industriales		1.112,40	3.165,90	20,00	50,00	53,85	54,47
Hidrocarburos halogenados y SF ₆	HFC	247,00	1.073,90	20,00	50,00	53,85	18,27
	PFC	148,40	1.375,00	20,00	50,00	53,85	23,39
	SF ₆	717,00	717,00	20,00	50,00	201,68	45,67

Fuente: IDEAM, 2008

Tabla 7.11. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de hidrocarburos halogenados y SF₆ en CO₂ eq del Módulo de procesos industriales

2. Procesos industriales	Gas	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales		%	%	%	%	%
2. Procesos industriales						
Hidrocarburos halogenados y SF ₆	HFC	-1.861988	0,9654	-131,66	28,28	134,67
	PFC	0.602793	1,2361	42,62	28,28	51,15
	SF ₆	0.264527	0,6446	18,70	276,31	276,94

Fuente: IDEAM, 2008

7.9 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE AGRICULTURA

Las incertidumbres en los datos de la actividad se derivan principalmente de las siguientes fuentes:

- Error relativo del ganado bovino estratificado por departamento, obtenido de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), DANE.



- Error relativo del cultivo de arroz por tipo de riego, ENA.
- Diferencia porcentual entre la imagen real y la imagen estimada por georreferenciación.
- Porcentaje de la varianza no explicada por modelos de regresión.
- Imprecisión planimétrica.
- Registros administrativos de ventas de fertilizantes.

En los factores de emisión se tiene:

- Coeficiente de variación de los factores de emisión de ganado vacuno no lechero; fuente ENA y cálculos IDEAM.
- Incertidumbre por omisión o defecto según IPCC (1996).
- Error relativo de la ENA.

Las incertidumbres combinadas como proporción del total de las emisiones del 2004 de CH₄ y N₂O, medidas en CO₂ equivalente, son del orden de 176,14% y 167,01% respectivamente.

Tabla 7.12. Incertidumbre de las emisiones de CH₄ en CO₂ eq del Módulo de agricultura

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el FE	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales	Gg eq de CO ₂	Gg eq de CO ₂	%	%	%	%
3. Agricultura	33.190,08	35.687,19	20,81	174,91	176,14	21,97
A. Fermentación entérica	30.928,80	33.258,33	1,90	22,63	22,71	21,16
B. Manejo de estiércol	883,68	937,02	1,90	56,35	56,38	1,48
C. Cultivos de arroz	1.274,91	1.372,35	0,89	148,34	148,34	5,70
E. Quema prescrita de sabanas	52,50	52,50	20,00	50,00	53,85	0,08
F. Quemadas en el campo de residuos agrícolas	50,19	66,99	5,00	48,99	49,24	0,09

Fuente: IDEAM, 2008

Las incertidumbres en los datos de actividades no sobrepasan el 20%. Las incertidumbres de los factores de emisión propios del país que corresponden a fermentación entérica y manejo de estiércol del ganado vacuno no lechero alcanzan un valor de 22,63% y 56,35%, respectivamente. Véase la Tabla 7.11. Esto, se traduce en incertidumbres combinadas más bajas tanto para las emisiones por año, como para la tendencia, con un valor de 2,69%.

Esta última incertidumbre alcanza un valor porcentual de 28,28% en las emisiones procedentes de quema de sabanas. Véase la Tabla 7.12. En otras palabras, la incertidumbre en la diferencia porcentual entre las emisiones de los años 2000 y 2004 es del orden presentado.

Tabla 7.13. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH₄ en CO₂ equivalente del Módulo de agricultura

Categorías de fuentes y sumidero de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
3. Agricultura					
A. Fermentación entérica	0.00005	1.0003	0.00	2.69	2.69
B. Manejo de estiércol	-0.00036	0.0301	-0.03	2.69	2.69
C. Cultivos de arroz	0.00004	0.0412	0.01	1.26	1.26
E. Quema prescrita de sabanas	-0.00012	0.0016	-0.01	28.28	28.28
F. Quemadas en el campo de residuos agrícolas	0.00039	0.0020	0.03	7.07	7.07

Fuente: IDEAM, 2008

Pese a que las fuentes de datos utilizadas son representativas de las actividades agropecuarias, la falta de certidumbre proveniente de cultivos en histosoles, incrementa la incertidumbre de la categoría de suelos agrícolas y, en general, de las emisiones del módulo para N₂O. Véase la Tabla 7.14.

Tabla 7.14. Incertidumbre de las emisiones de N₂O en CO₂ eq del Módulo de agricultura

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
3. Agricultura					
B. Manejo de estiércol	-0,00008	0,0085	-0,01	2,69	2,69
D. Suelos agrícolas	-0,00013	0,9875	0,00	196,66	196,66
E. Quema prescrita de sabanas	0,00000	0,0003	0,00	28,28	28,28
F. Quemadas en el campo de residuos agrícolas	0,00021	0,0008	0,001	7,07	7,07

Fuente: IDEAM, 2008

Similar situación se presenta con la incertidumbre en la tendencia, puesto que se asume que la incertidumbre es la misma en ambos años, con una magnitud superior a 100%. Por consiguiente, se encuentra necesario trabajar en la verificación temática de los suelos agrícolas en histosoles, con el fin de mejorar la exactitud de las áreas, con base en la resolución y los instrumentos utilizados para estimar el área cultivada. Véanse las tablas 7.14 y 7.15.

Tabla 7.15. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de N₂O en CO₂ eq del Módulo de agricultura

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
3. Agricultura					
B. Manejo de estiércol	-0,00008	0,0085	-0,01	2,69	2,69
D. Suelos agrícolas	-0,00013	0,9875	0,00	196,66	196,66
E. Quema prescrita de sabanas	0,00000	0,0003	0,00	28,28	28,28
F. Quemadas en el campo de residuos agrícolas	0,00021	0,0008	0,001	7,07	7,07

Fuente: IDEAM, 2008

7.10 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA

Las incertidumbres en los datos de la actividad provienen principalmente de:

- Diferencia porcentual entre censos y consensos nacionales en materia forestal.
- Diferencia porcentual entre la imagen real y la imagen estimada por georreferenciación.
- Incertidumbre por omisión o defecto IPCC (1996).
- Incertidumbre de la Encuesta Anual Manufacturera.
- Dictamen de expertos.

En los factores de emisión se tiene:

- Porcentaje de la varianza no explicada por modelos que estiman biomasa y factores de crecimiento.
- Incertidumbre por defecto IPCC (1996).
- Dictamen de expertos.



Este módulo presenta las incertidumbres más altas en las emisiones de CO₂, y es la segunda más alta en CH₄ y N₂O pero, a diferencia de los otros módulos, las incertidumbres en los factores de emisión son calculadas con base en las fuentes de información. Cabe resaltar que fueron múltiples las instituciones que proporcionaron los datos de entrada y en algunos casos sus reportes no guardaban consistencia entre sí, razón por la cual las incertidumbres tienden a ser elevadas.

Tabla 7.16. Incertidumbre de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O en CO₂ eq del Módulo de USCUS

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales		Gg de CO ₂ eq	Gg de CO ₂ eq	%	%	%	%
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura		29.944,93	25.720,56	53,38	220,71	214,33	79,86
A. Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosas	CO ₂	6.412,76	2.130,90	52,23	158,59	166,97	13,83
B. Conversión de bosques y praderas	CO ₂	16.345,70	16.345,70	0,30	119,08	119,08	75,68
C. Abandono de tierras cultivadas	CO ₂	-150,47	-100,39	11,00	61,29	62,27	0,24
D. Emisiones de CO ₂ del suelo	CO ₂	7.336,94	7.344,35	0,30	75,00	75,00	21,42
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura		266,07	266,07	0,30	119,08	119,08	119,08
B. Conversión de bosques y praderas	CH ₄	266,07	266,07	0,30	119,08	119,08	119,08
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura		27,90	27,90	0,30	119,08	119,08	119,08
B. Conversión de bosques y praderas	N ₂ O	27,90	27,90	0,30	119,08	119,08	119,08

Fuente: IDEAM, 2008

Otro aspecto importante es la incertidumbre del factor de emisión de las absorciones procedentes del abandono de tierras cultivadas que asciende a 61,29%. Esta categoría de fuente es importante ya que fija (captura) las emisiones de GEI, por lo cual merece especial atención la reducción de su incertidumbre; si ascienden las absorciones, también lo hará su incertidumbre, si se conservan las mismas fuentes de información. Adicionalmente, este módulo presenta las mayores incertidumbres en la tendencia. Como puede observarse la incertidumbre en la tendencia es inferior al 1% para las emisiones procedentes de la conversión de bosques y praderas, cuya incertidumbre combinada es la más alta del módulo, tanto en CH₄ como en N₂O, debido a que las emisiones de GEI son iguales para ambos años (Véanse las Tablas 7.16 y 7.17).

7.11 INCERTIDUMBRES DEL MÓDULO DE RESIDUOS

La incertidumbre en los datos de la actividad provienen fundamentalmente de:

- Diferencia porcentual de la proyección de la población con base en los censos de los años 1993 y 2005 del DANE.
- Coeficiente de variación sugerido en la guía de medición para la estimación de las cargas per cápita de DBO₅ y SST para vertimientos de aguas residuales domésticas; investigación realizada por el IDEAM.
- Coeficiente de variación del peso de los residuos dispuestos en una muestra aleatoria de siete básculas instaladas en rellenos sanitarios, con base en el estudio del estado real de las básculas realizado en el 2006 por la SSPD.

Tabla 7.17. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O en CO₂ eq del Módulo de Uscuss

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Gas	Sensibilidad tipo A	Sensibilidad tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en el FE	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones causada por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales		%	%	%	%	%
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura						
A. Cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa	CO ₂	-0,11254	0,0712	-25,24	73,86	78,06
B. Conversión de bosques y praderas	CO ₂	0,07659	0,5459	12,90	0,42	12,90
C. Abandono de tierras cultivadas	CO ₂	0,00096	-0,0034	0,08	15,56	15,56
D. Emisiones de CO ₂ del suelo	CO ₂	0,03473	0,2453	3,68	0,42	3,71
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura						
B. Conversión de bosques y praderas	CH ₄	0,00000	1,0000	0,00	0,42	0,42
4. Cambio en el uso de la tierra y silvicultura						
B. Conversión de bosques y praderas	N ₂ O	0,00000	1,0000	0,00	0,42	0,42

Fuente: IDEAM, 2008

- Coeficiente de variación del consumo de proteína promedio del periodo 2001-2003, según datos reportados por la FAO.

En los factores de emisión se tienen las siguientes incertidumbres:

- Por omisión o defecto, según IPCC (1996).
- Dictamen de expertos de la variación del factor de emisión con base en el comportamiento nacional.
- Coeficiente de variación sugerido en la guía de medición para la estimación de las cargas per cápita de DBO₅ y SST para vertimientos de aguas residuales domésticas.

La incertidumbre combinada como proporción de las emisiones de CH₄ en unidades de CO₂ equivalentes del módulo es de 41,92%, debido a la contribución de la incertidumbre de los factores de emisión en la estimación de las emisiones procedentes de la disposición de residuos sólidos dispuestos en tierra (véase la Tabla 7.18). Por su parte el N₂O (en CO₂ eq) por la contribución de las incertidumbres del factor de emisión de aguas residuales y efluentes descargados arroja el 240,17%. Véase la Tabla 7.19.

Tabla 7.18. Incertidumbre de las emisiones de CH₄ en CO₂ equivalente del Módulo de residuos

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Gas	Emisiones año base 2000	Emisiones año 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales		Gg equivalente de CO₂	Gg equivalente de CO₂	%	%	%	%
5. Residuos		8.628,02	9.506,11	29,66	84,81	43,86	41,92
A. Disposición de residuos sólidos en tierra	CH ₄	8.236,62	9.048,27	4,86	43,59	43,86	41,75
B. Tratamiento de aguas residuales	CH ₄	391,40	457,84	29,26	72,75	78,41	3,78

Fuente: IDEAM, 2008



Las incertidumbres en los datos de la actividad provienen de mediciones en campo o experimentos controlados con base en diseño metodológico, razón por la cual éstas son relativamente bajas, pero no tanto como las reportadas en otros módulos cuando éstas provienen de las actividades económicas. En las emisiones de N_2O alcanzan 6,66% y en las de CH_4 26,66%, ya que la incertidumbre en aguas residuales del total de producto orgánico en aguas residuales industriales es de 25% y en aguas residuales domésticas y comerciales de 15,20%.

Tabla 7.19. Incertidumbre de las emisiones de N_2O en CO_2 equivalente del Módulo de residuos

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Emisiones año base 2000	Emisiones año t 2004	Incertidumbre en los datos de actividad	Incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre combinada	Incertidumbre combinada como % de las emisiones nacionales totales en el año t
Total de las emisiones y sumideros nacionales	Gg equivalente de CO_2	Gg equivalente de CO_2	%	%	%	%
5. Residuos	741,52	824,6	6,66	240,08	240,17	240,17
C. Excretas humanas	741,52	824,6	6,66	240,08	240,17	240,17

Fuente: IDEAM, 2008

La incertidumbre de la diferencia entre las emisiones de los años 2000 y 2004 está ligada con las incertidumbres en los datos de la actividad, más que con los factores de emisión. Los valores más altos corresponden a las emisiones de CH_4 procedentes del tratamiento de aguas residuales. Véanse las Tablas 7.20 y 7.21.

Tabla 7.20. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de CH_4 en CO_2 equivalente del Módulo de residuos

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones introducida por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
5. Residuos					
A. Disposición de residuos sólidos en tierra	-0,00305	1,0487	-0,19	6,87	6,88
B. Tratamiento de aguas residuales	0,00308	0,0531	0,32	41,38	41,38

Fuente: IDEAM, 2008

Tabla 7.21. Incertidumbre en la tendencia de las emisiones de N_2O en CO_2 equivalente del Módulo de residuos

Categorías de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	Sensibilidad de tipo A	Sensibilidad de tipo B	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones introducida por la incertidumbre en el factor de emisión	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones introducida por la incertidumbre en los datos de la actividad	Incertidumbre en la tendencia de las emisiones totales
Total de las emisiones y sumideros nacionales	%	%	%	%	%
5. Residuos					
C. Excretas humanas	0,00000	1,1120	0,00	9,42	9,42

Fuente: IDEAM, 2008

7.12 RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL NIVEL DE CERTIDUMBRE EN PROCESOS POSTERIORES

Con el fin de mejorar los niveles de certidumbre en procesos futuros, se plantean las siguientes recomendaciones.

- **Implementar el cálculo de la incertidumbre desde la recolección de los datos que alimentan el inventario de emisiones.**

Teniendo en cuenta que la incertidumbre está presente desde la concepción del inventario, ésta no sólo debe evaluarse a través de una estadística de dispersión de los datos de entrada para la respectiva estimación ya que las metodologías empleadas, los supuestos y la representatividad de los mismos contribuyen al aumento de la incertidumbre. Es necesario, por lo tanto, que las instituciones responsables optimicen los reportes de las estadísticas nacionales y sectoriales, valorando ciertos estadígrafos (media, desviación estándar, mínimo, máximo, coeficientes de variación, etc.), con el fin de examinar las inconsistencias en el ambiente donde se capturan los datos de la actividad, lo cual introduciría enfoques de control de calidad de la información que ayudan a reducir y cuantificar la incertidumbre.

- **Realizar la verificación temática de mapas de cobertura y uso del suelo**

Con el fin de garantizar la precisión de la información de coberturas y usos de las categorías de fuente relacionadas con la agricultura, junto con el cambio en el uso de la tierra y silvicultura es necesario, por un lado, comparar los resultados que arroja la cartografía a diferentes escalas para una región determinada y, por otro, realizar el trabajo de verificación y control de campo, apoyándose en áreas y puntos específicos. Los análisis basados en las diferencias sobre las áreas y puntos controlados, ayudarán a establecer la incertidumbre de la cartografía, además de evaluar la pertinencia de estudios específicos con el fin de obtener información más ajustada a las condiciones reales de las emisiones.

- **Utilizar variables proxy**

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

En los módulos de Procesos industriales, y uso de la tierra y cambio en el uso de la tierra y silvicultura, se utilizaron como proxy de la producción y la capacidad instalada, y como proxy de la superficie total abandonada en etapa de regeneración en los últimos veinte años, el área de cultivos ilícitos. Sin embargo, esta herramienta puede ser aplicada en categorías de fuentes donde no fue posible hacer el cálculo de las emisiones. Este procedimiento es útil tanto para reducir la incertidumbre como para calcularla cuando no se incluyen categorías de fuente que son relevantes en el inventario de emisiones. Al respecto, es necesario tener en cuenta que la incertidumbre en el nivel real del dato de la actividad no puede asumirse como la varianza no explicada por la variable Proxy, por lo cual resulta necesario compararla con otras fuentes de información.

- **Construir una serie coherente de emisiones, datos de la actividad y factores de emisión**

Un conjunto de datos de las emisiones desagregadas por dato de actividad y factor de emisión, es el punto de partida para encontrar la función de densidad de probabilidad (fdp) que mejor se ajuste a la información. Una vez se conoce la fdp, es posible estimar las incertidumbres (probabilistas), ya sea por el método de Monte Carlo o por propagación de errores.

Para futuras comunicaciones nacionales se recomienda hacer un análisis gráfico, incluyendo el análisis de frecuencia de las incertidumbres para el dato de la actividad y el factor de emisión por categoría de fuentes de los años 1990, 1994, 2000 y 2004. Con dicha metodología y los procedimientos de análisis de bondad de ajuste a las mejores funciones de distribución de probabilidad, se contaría con incertidumbres basadas en modelos compactos y más robustos para Colombia. Además, es procedente solicitar a las entidades encargadas de producir las cifras oficiales del agregado nacional, los estadígrafos básicos para el control de calidad de la información (media, desviación estándar, coeficientes de variación, número de datos), a través de una ficha técnica de la investigación o forma de recolección de los datos. Estos datos facilitarían mejorar los indicadores del nivel de incertidumbre.



BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, J. C., y CARDONA, M. C. Metodología para estimar cambios en biomasa aérea boscosa y su relación con la emisión y captura de dióxido de carbono, usando sistemas de información geográfica, estudio de caso, bosques de la ecorregión de la Serranía de San Lucas y su área de influencia para el periodo 1970 - 1990. Trabajo de grado de maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional. Bogotá: IDEAM, 2001.
- _____. Documento técnico para el cálculo del inventario nacional de gases de efecto invernadero generados por el cambio del uso de la tierra y silvicultura años 1990 y 1994. IDEAM, Subdirección de Ecosistemas. Bogotá: IDEAM, 2001.
- CASTAÑO. Criterios de precisión cartográfica. Revista Catastro, Año III, número 8, pp. 12-20, abril de 1991.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Marco de lista de las plantaciones forestales comerciales a nivel nacional. Sistema de información del sector agropecuario y pesquero colombiano (SISAC). Bogotá: DANE, 2006.
- COLOMBIA. IDEAM. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 2000 y 2004. Módulos: energía, procesos industriales; residuos; agricultura; y cambio en el uso de la tierra y silvicultura (sin publicar).
- _____. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá: IDEAM, 2001. p. 307.
- _____. Estrategias de reducción de incertidumbre de las variables básicas en la estimación de gases efecto invernadero (GEI). Bogotá: IDEAM.
- _____. Factores de vertimiento per cápita para aguas residuales domésticas. Aplicación al cobro de la tasa retributiva. Bogotá: IDEAM, 2006.
- _____. Inventario nacional de gases efecto invernadero. Capítulo 7, Desechos. Bogotá: IDEAM, 2002.
- CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras. Serie técnica Núm. 32. Bogotá: Conif, 1995.
- DONAHUE, R., et al. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Madrid: Prentice.Hall, 1977. p. 411.
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. Directrices del IPCC de 1996 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. París: IPCC.
- 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, Reino Unido: Parry, O., et al. 2007. p. 27.
- _____. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero
- _____. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura. 2005
- _____. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y manejo de la incertidumbre en inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2005
- MENDENHALL, W., WACKERLY, D., y SHEAFFER, R. Estadística matemática con aplicaciones. Ed. 2. México: Grupo Editorial Iberoamérica. 1994.
- PÉREZ, L. Técnicas de muestreo estadístico: teoría, práctica y aplicaciones informáticas. México: Alfaomega. 2000. p. 603.