

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, en inglés: UNFCCC) suscrita por 155 países en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, tiene como objetivo la "estabilización de las concentraciones de los gases de efecto de invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel tal que se puedan evitar interferencias antropogénicas peligrosas para el sistema climático" (Artículo 2). Las directrices para alcanzar esta meta incluyen que todos los países que suscribieron el convenio "deberían proteger el sistema climático para el beneficio de las generaciones presentes y futuras de la humanidad sobre la base de la equidad y de acuerdo con sus responsabilidades comunes pero diferenciadas, y su respectiva capacidad", y que "las Partes deberían tomar medidas preventivas para anticipar, prevenir o minimizar las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos" (Art. 3).

Colombia adoptó la CMNUCC el 09 de Mayo de 1992 y el Congreso Nacional la aprobó por Ley 164 de 1995. La Corte Suprema de Justicia la consideró exequible y fue ratificada el 22 de Marzo 1995. Entró en vigencia para el país el 20 de Junio de 1995. Como país no perteneciente al Anexo I tiene los compromisos generales establecidos para todos las naciones que suscribieron las CMNUCC:

- Desarrollar, actualizar periódicamente, publicar y ofrecer a la conferencia de las Partes los Inventarios Nacionales de Emisiones antropogénicas de todos los GEI no controlados por el protocolo de Montreal.
- Emplear la metodología IPCC para su elaboración.
- Formular, implantar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales que contengan medidas para mitigar el cambio climático mediante el tratamiento de las emisiones antropogénicas.

Los países industrializados del Anexo 1 están comprometidos a suministrar recursos financieros para asistir a los países en desarrollo en la preparación de sus comunicaciones nacionales y a transferir tecnología para que los países en desarrollo pueden cumplir con la implementación de sus programas de reducción de emisiones. Dentro de este contexto, la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN), con el apoyo de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) y el aval del Ministerio de Medio Ambiente, realizó durante 1995 y 1996 el *Inventario de Gases de Efecto Invernadero - Colombia 1990*¹. Como continuación de este estudio, la ACCEFYN (nuevamente con el apoyo de la GTZ) realizó durante 1998 el estudio *Opciones para la Reducción de*

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia 1998-2010. Este estudio se realizó siguiendo las guías metodológicas desarrolladas por la UNEP^{2 3} y el US Country Studies Programm⁴. El propósito de adoptar metodologías internacionalmente aceptadas es facilitar la comparación de los resultados entre países. Este resumen ejecutivo presenta los resultados encontrados para el caso colombiano y algunos lineamientos generales para la formulación de un Plan Nacional de Reducción de Emisiones de GEI para Colombia^a.

CASO BASE 1998-2010

Los sectores que afectan las emisiones de GEI son los de energía y no-energía. El caso base describe la evolución esperada de estos sectores para el periodo en consideración, a partir de unas expectativas dadas de desarrollo del país.

Para el caso base del sector energía tomamos en cuenta las cifras y los análisis realizados por la Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME) que es la entidad del Ministerio de Minas y Energía encargada de generar los planes, programas y políticas energéticas, recopilar información histórica y hacer las proyecciones de demanda de energía para el corto, mediano y largo plazo. Mediante la utilización complementaria de modelos econométricos y analíticos, la UPME estimó la demanda a nivel de energía final, teniendo en cuenta las posibles sustituciones que pueden producirse en los sectores residencial, industrial y del transporte, ante la diversificación esperada de la canasta de energéticos en Colombia^{5 6 7}.

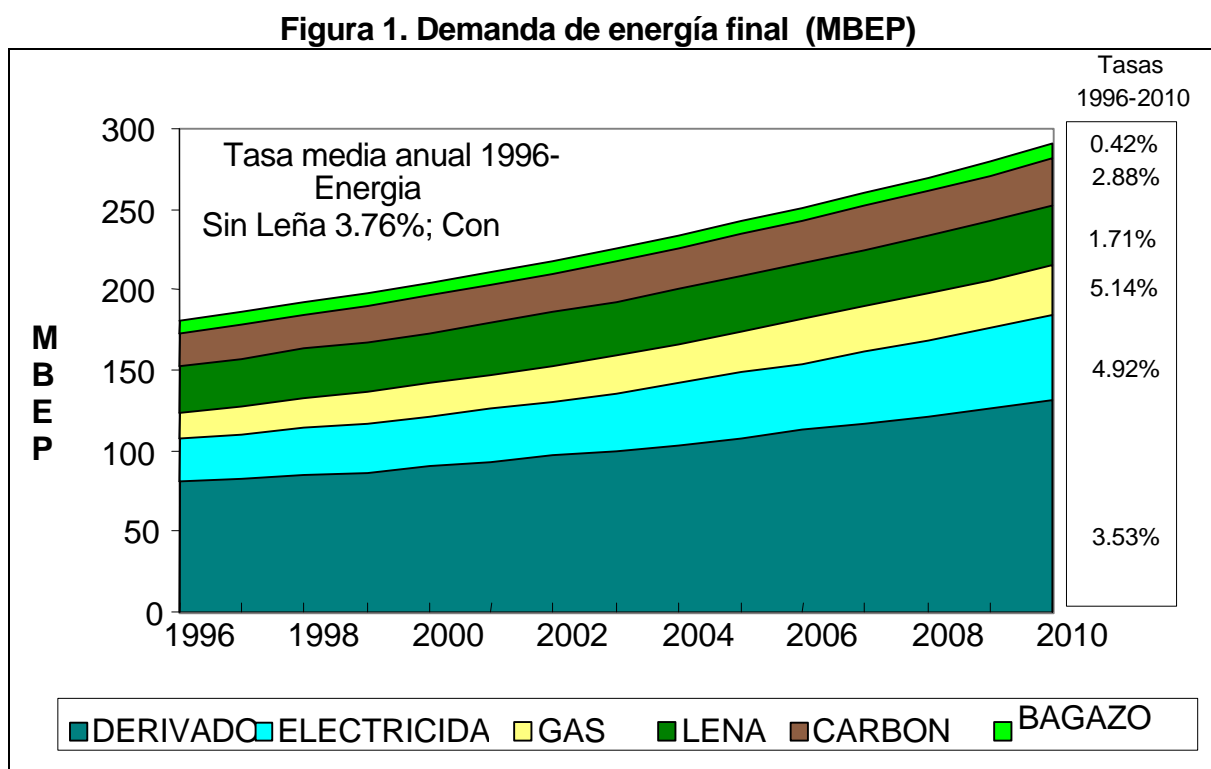
Para estimar las proyecciones de requerimientos de los energéticos del sistema nacional, la UPME empleó el modelo analítico ENPEP⁸, que es realimentado con las proyecciones econométricas. El modelo usa una aproximación no lineal de equilibrio general para determinar el balance de oferta y demanda de energía y toma en cuenta los procesos, programas o acciones encaminados a la sustitución y uso eficiente de energía y al uso de equipos eficientes.

Mediante la utilización complementaria de estos dos tipos de modelos es posible utilizar los datos históricos de la evolución de la demanda para determinar su tendencia histórica y modificarla a través, de la incorporación de los efectos esperados al aplicar diferentes acciones, tales como el diseño de programas de uso

^a La tarea de la formulación de planes de esta naturaleza y su desarrollo corresponde al Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Agricultura y Ministerio de Desarrollo, junto con el Departamento Nacional de Planeación, entre otros. Por lo tanto, la propuesta presentada por la ACCEFYN no pretende sustituir las tareas de las instituciones del estado Colombiano sino que intenta constituirse en un aporte de la comunidad científico-técnica del país a la discusión de tan importante problemática.

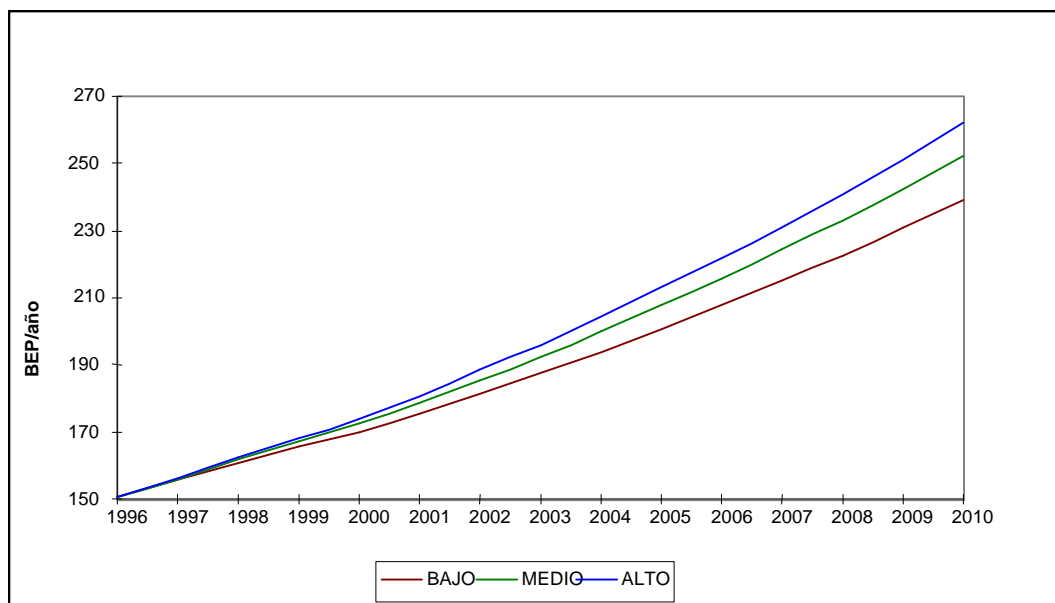
racional de energía, la sustitución de energéticos (por ejemplo, gas natural por electricidad para cocción), ó cambios tecnológicos en equipos, entre otros, lo cual hace que esta metodología esté muy acorde con los objetivos específicos del estudio de reducción de emisiones desarrollado a través del presente documento. Esta metodología permitió obtener la demanda a nivel de energía final sin desagregar completamente subsectores económicos ni usos energéticos.

El crecimiento de la demanda esperado para los próximos años, hasta el 2010, se ilustra en la figura 1.



Fuente: Plan Energético Nacional 1997 - 2010, UPME, 1997

En el año 2010, el país estará consumiendo (sin considerar la leña) 252.6 MBEP, cerca de 100 millones más que en la actualidad. Cuando se suma la leña, el consumo parte de 180 MBEP y se incrementa hasta 290 MBEP. En la figura 2 se presenta la banda de proyección de demanda de energía final (sin leña) para el caso base ante cambios de escenarios del PIB. Para todo el período de estudio (1996-2010) se prevé un crecimiento máximo del 4.03% anual y uno mínimo del 3.35%.

Figura 2. Franja de Proyección de la demanda de Energía Final (MBEP/año)

Fuente: Plan Energético Nacional 1997 - 2010, UPME, 1997

En 1996, la UPME publicó una actualización del “Plan de Expansión de Generación – Transmisión”⁶. Este plan presentó, a los distintos agentes, cuatro estrategias de desarrollo del sector eléctrico, diseñadas para el corto, mediano y largo plazo.

Para el largo plazo (2001-2010) se toman en consideración distintas combinaciones de plantas a gas, carbón e hidroeléctricas. La UPME propuso cuatro estrategias distintas, identificadas con las siglas LP-1, LP-2, LP-3 y LP-4. La estrategia LP-4 es la que presenta la mayor componente térmica a carbón y es por lo tanto la que se considera para los diferentes análisis de reducción de emisiones realizados en este estudio, por ser el escenario con mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.

El sector no-energía considerado en este estudio contempla los subsectores forestal y agropecuario. Los principales supuestos para el desarrollo del sector forestal son una tasa de deforestación de 200.000 ha por año, que se mantendrá hasta el año 2010. Durante 1995, el área aprovechada en los bosques naturales fue de aproximadamente 35.000 hectáreas, con un volumen estimado en 1'969.216 m³ de madera en bruto, de los cuales 1'386.772 m³ fueron registrados legalmente y alrededor de 582.444 m³ evadió el control estatal⁹. Se considera que esta tendencia de consumo nacional se mantendrá durante los próximos 10 años con una tasa de crecimiento anual del 4%.

El área reforestada acumulada hasta 1995 era de 270.000 hectáreas⁹. La reforestación con fines comerciales para los próximos 10 años se estima en 332.000 ha¹⁰, la cual será realizada en su totalidad por el sector privado. También se tiene previsto el establecimiento de 231.000 ha en reforestación de carácter protector, que serán plantadas por las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible con el apoyo del Ministerio del Medio Ambiente, a través de los créditos BID y BIRF.

De otra parte se tiene previsto que la agroforestería (sistemas agroforestales y silvopastoriles) abarquen un área de 195.000 ha. Una gran parte de esta actividad se realizará en la zona cafetera donde se estima que 300.000 ha de café serán reconvertidas a otros usos, de las cuales alrededor de 175.000 ha se convertirán en sistemas agroforestales.

En cuanto se refiere al sector agropecuario se han hecho las siguientes suposiciones: Para el sector agrícola y en particular para los cultivos considerados en el inventario de GEI, tales como, arroz, maíz, caña de azúcar, palma africana, algodón, etc., se estima muy poca reactivación de las actividades productivas tanto en un lapso de tiempo corto (1996-2002), como a mediano plazo (2002-2008). Por ejemplo se supone que el área total cultivada en arroz no sufrirá cambios notorios, sino que presentará fluctuaciones - de máximo un 5% del total cultivado -, alrededor de 400 mil hectáreas, y posiblemente ligeros cambios en la composición de la distribución de arroz continuamente inundado e intermitentemente inundado que podría variar de un 65-35%, (inventario GEI, 1990), a un valor cercano a 60-40%¹.

Para el sector pecuario se hicieron las siguientes consideraciones: el hato ganadero crecerá a un ritmo entre 2 y 2,5% anual. El sector avícola crecerá a un ritmo constante del 2,5% anual. El sector pecuario mantendrá la tasa de crecimiento observada en el periodo anterior (2.5% anual). Los demás animales considerados en el inventario se calcula crecerán a un ritmo que varía entre el 1 y el 2% anual.

La quema de residuos agrícolas en el campo se sigue considerando como una práctica poco frecuente en el país y, por lo tanto, es tomada como una fuente despreciable en la contabilidad de emisiones GEI. La quema de sabanas, como práctica tradicional que es, se estima que seguirá contribuyendo a la emisión de GEI prácticamente de la misma forma, puesto que la extensión de sabanas del país sometidas a este tipo de acción seguirá siendo la misma cantidad considerada en el inventario de GEI que toma como año base 1990. Esto significa que para la quema de sabanas no se considerará ninguna tasa de crecimiento.

EMISIONES DEL CASO BASE

Para calcular las emisiones del caso base se consideraron por separado las del sector energía y las del sector no-energía.

Emisiones del sector energía

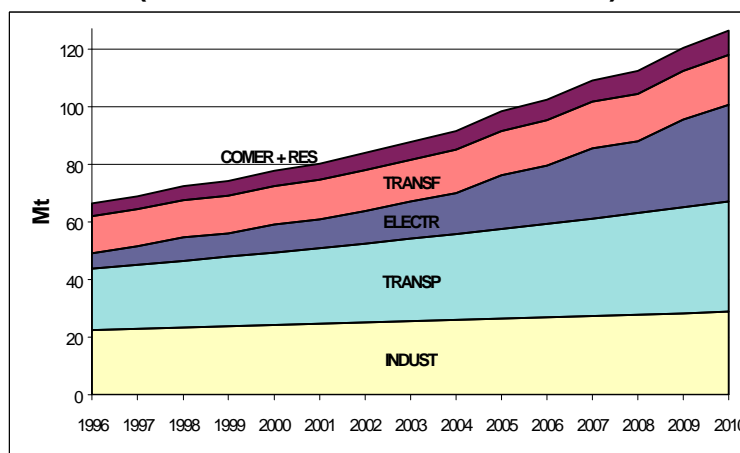
Para el sector energía se parte de las proyecciones generadas por el modelo ENPEP y empleando el módulo IMPACTS se calculan las emisiones con los factores de emisión de acuerdo al tipo de tecnología. Estos factores fueron tomados de la metodología del IPCC¹¹ y de las normas AP-42¹². Para el sector no-energía, las emisiones de CO₂ y CH₄ se han estimado con base en las suposiciones descritas y haciendo uso de la metodología del inventario.

CO₂: La Figura 3 muestran las emisiones totales de CO₂ para los diferentes sectores de la economía. Las emisiones totales fueron de 66.4 Mt en 1996. Existe una tendencia creciente en las emisiones y se espera que para el año 2010 estas superen los 120 Mt, es decir, para finales de la próxima década se tendrán el doble de las emisiones de CO₂ de las que se tuvieron en el año de 1990.

El mayor crecimiento en las emisiones se debe esperar en el sector eléctrico. Para 1996 este sector fue responsable del 8% de las emisiones de CO₂ totales, pero para el 2002 dicho porcentaje aumentará al 14% y para el 2008 alcanzará el 22%.

Aunque las emisiones de los sectores transporte e industrial aumentarán, se espera que su participación porcentual en las emisiones totales se reduzca debido al gran aumento del sector eléctrico. La participación de estos dos sectores fue del 32% y del 34% respectivamente durante 1996, pero para el 2008 estos descenderán hasta el 31 y el 25%, respectivamente. Es importante resaltar que la participación en las emisiones totales del sector industrial se reduce del 34 al 25% debido principalmente a la penetración del gas natural en este sector. El porcentaje de participación del sector residencial + comercial no varía mucho durante el periodo de estudio.

Figura 3. Emisiones de CO₂ por Sectores Económicos (Millones de toneladas anuales)



CH₄: Las emisiones de metano del sector energía tienen su origen en las emisiones fugitivas de este gas en la minería del carbón, la explotación del petróleo y el manejo del gas natural, y en los procesos de combustión que se dan en los diferentes sectores de la economía (denominados resto energía) De las emisiones totales del año 1996, 146 kt, el 75% corresponden a las emisiones fugitivas mientras que en el año 2010 estas representarán el 82% de las mismas, debido al incremento en la minería del carbón y la explotación petrolera.

De las emisiones por combustión (resto energía), la mayor contribución es del sector residencial + comercial debido a las emisiones de metano provenientes del consumo de la leña. Sin embargo su participación tiende a disminuir, pues, pasarán del 67% del total por combustión en 1996 a 59% en el 2010.

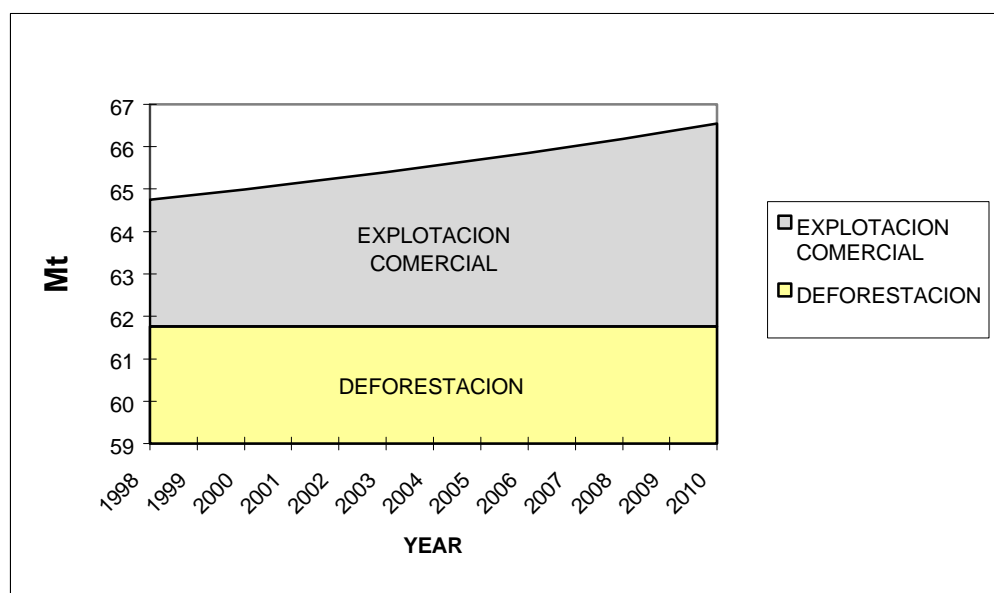
Las emisiones de los otros gases de efecto invernadero directo e indirecto, tales como, CO, NO_x, N₂O y CO₂DM, también fueron evaluadas (ver informe completo)

Emisiones del sector no-energía

Subsector Forestal

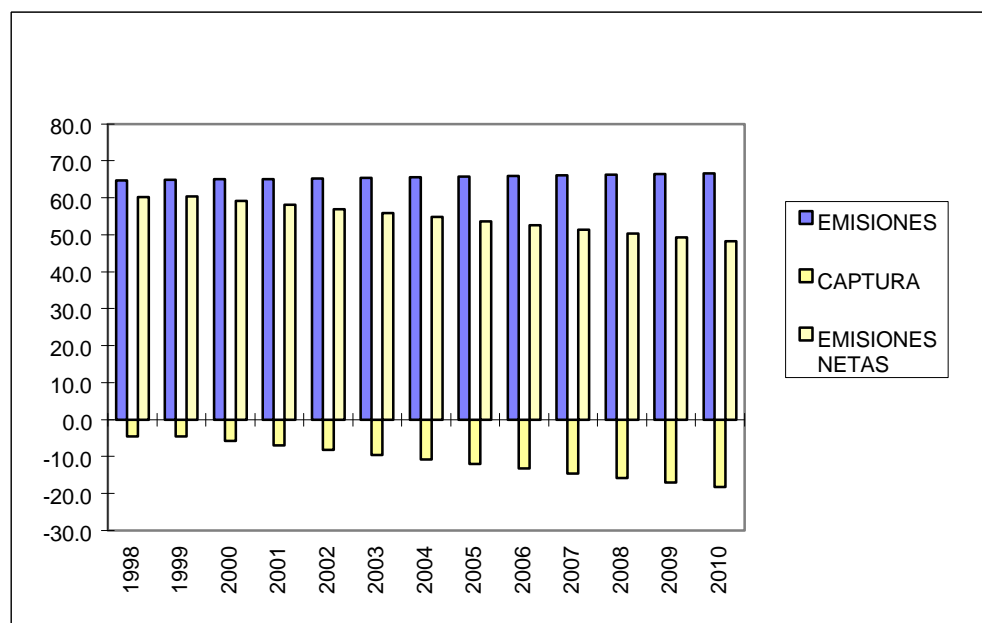
Las emisiones en este subsector provienen de la tala y quema de los bosques deforestados y de la utilización industrial de la madera proveniente en su mayoría de los bosques naturales. La figura 4 muestra la evolución esperada de las emisiones de CO₂ de acuerdo con las suposiciones del caso base.

Figura 4. Emisiones de CO₂ para el Sectores Forestal - Caso base



La captura de CO₂ en este subsector se debe principalmente a la reforestación de protección y a la comercial, así como también la debida a la regeneración de los bosques naturales explotados bajo licencia.

Figura 5. Evolución de las emisiones y captura (Mt / año)



De acuerdo con los planes del gobierno mencionados como escenario base, se espera que a partir de 1998 la reforestación por estos conceptos sea de 76.000 ha por año. Como resultado de la captura de CO₂, las emisiones netas del subsector disminuirán de 60,2 a 48,2 Mt de CO₂ para el año 2010 (figura 5).

Subsector Agrícola

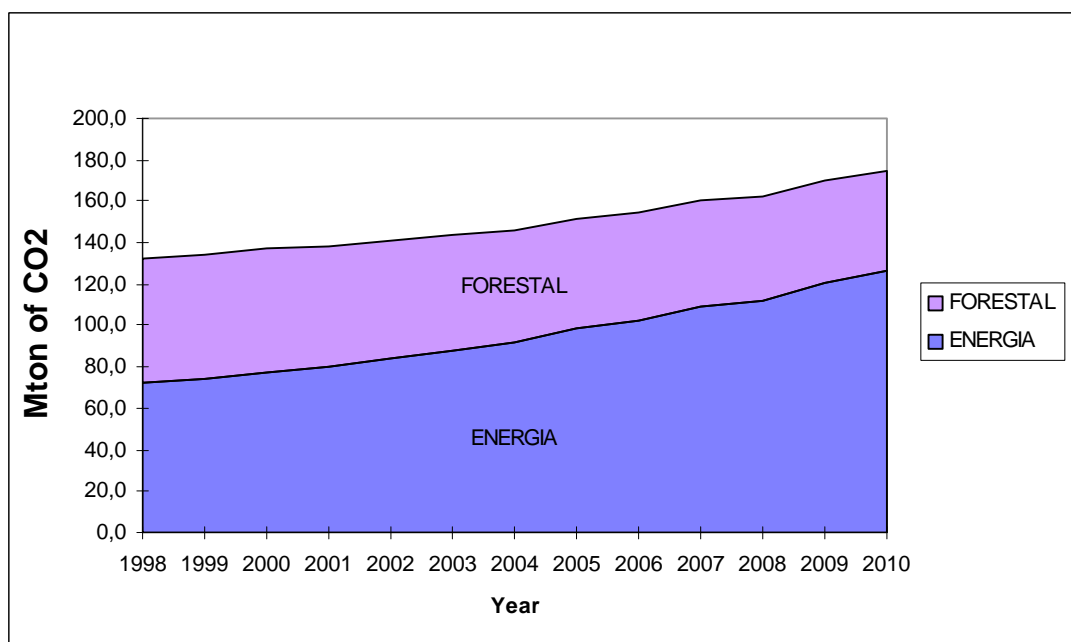
Las emisiones del subsector agropecuario son esencialmente CH₄ y N₂O, y en menor cantidad CO y NO_x. Las emisiones de CO₂ son nulas ya que la metodología IPCC considera que las emisiones de este gas por quema de biomasa están justamente equilibradas por la captura del mismo debido al recrecimiento natural de la vegetación.

Las emisiones de CH₄ en este subsector se estiman, de acuerdo con las suposiciones hechas para el caso base en 1,6 Mt para 1996, 1,8 Mt para el 2002 y 2,0 Mt para el 2008. La fermentación entérica en el ganado lechero y de carne es la fuente principal de estas emisiones y representa el 84.5% del total en 1996 y 87.6% en el año 2008.

Emisiones Netas de CO₂

La Figura 6 muestra la evolución del total de las emisiones netas de CO₂ en Colombia para los sectores energía y no-energía (en este caso el sector forestal), y para el periodo 1997 – 2010.

**Figura 6. Emisiones Totales de CO₂ (Energía y no-energía)
Periodo 1998 - 2010**



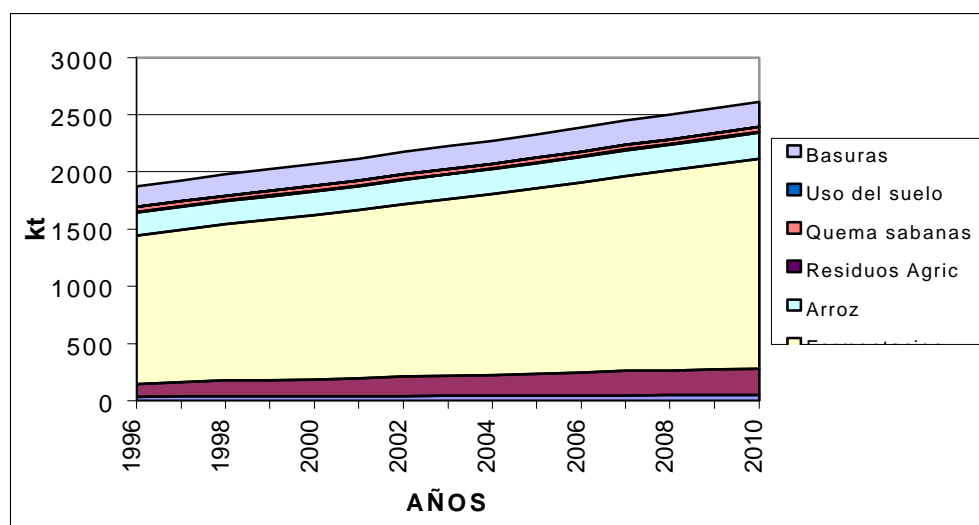
Las emisiones de CO₂ en 1990 fueron de 167 Mt, de las cuales el sector energía fue responsable de aproximadamente el 31% (52.3 Mt) y el sector forestal (tala y quema del bosque) del resto (111.3 Mt). Desde 1990 a 1998 el sector energía ha venido creciendo y sus emisiones aumentando de 52 a 72 millones de ton, mientras que el sector forestal debido a los mayores controles y a los cambios de políticas a nivel nacional al respecto han venido disminuyendo las emisiones de CO₂ desde 111 en 1990 a 60 Mt en 1998. En el período mostrado en la figura 1998 – 2010 las emisiones de CO₂ seguirán disminuyendo en el sector forestal hasta 48 Mt y aumentando en el sector energía hasta 126 Mt en el 2010. El total de emisiones de 1990 (167 Mt) comparado con el total en el 2010 (174 Mt) presenta apenas un aumento de 8 Mt en 20 años. Este escenario podría parecer optimista, pero realmente no lo es, debido a que la cifra de deforestación tomada en el inventario de 1990 siguiendo las directrices de la metodología IPCC es un promedio del período 1970-1990, pero la realidad es que esta cifra desde 1970 viene disminuyendo al punto que en 1990 ya era mucho menor que el promedio. Por esta razón aparece un salto entre 1990 y los años posteriores. En 1998 la tasa de deforestación se asumió como 200.000 ha/año, muy reducida, comparada con 367.000 ha que fue la cifra tomada como el promedio para 1970-1990. Este hecho hace aparecer que las emisiones totales casi no aumentan en 20 años sin que se consideren medidas de mitigación diferentes al control sobre la tala del bosque. Las emisiones del sector energía van desde 52 Mt en 1990 a 126 Mt en 2010, aumento compensado con la reducción de la tasa de deforestación en el mismo período.

Emisiones Totales de Metano

La figura 7. muestra la evolución del total de las emisiones de CH₄ en Colombia, para todas las categorías fuente de las mismas y para el período 1996 – 2010.

La contribución principal proviene de la fermentación entérica, la cual mantendrá su participación porcentual 70% del total al año 2010. Al igual que en el inventario realizado para el año 1990, estas emisiones corresponden en un 95% a la digestión del ganado lechero y de carne. Las fuentes que le siguen en importancia son las emisiones fugitivas en el sector energía, las emisiones por descomposición anaeróbica de las basuras en los rellenos sanitarios y las emisiones causadas por el cultivo del arroz en régimen de inundación.

El crecimiento esperado del total de las emisiones de este gas dentro del escenario base es pequeño, aproximadamente 2.6% anual.

FIGURA 7. EMISIONES TOTALES DE CH₄ POR FUENTE (1996 - 2010)

OPCIONES DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

La opción de reducción de emisiones consiste en sustituir la tecnología actual por una de las nuevas tecnologías^a o en introducir nuevas tecnologías en vez de las convencionales. La evaluación de cada una de las nuevas tecnologías conlleva un análisis técnico económico y ambiental, en el cual se comparan económica y ambientalmente dos opciones tecnológicas que suministran la misma cantidad de energía o prestan el mismo servicio con el mismo grado de confiabilidad.

El análisis de costos^{2,3} considera la vida útil del proyecto, los costos de inversión, O&M, y el costo de los combustibles (sin subsidios ni impuestos) a emplear para cada una de las opciones (costos en US\$). Todos estos costos se llevan a una anualidad en VPN (Valor Presente Neto) y se calcula el costo total anual tanto de la opción de referencia (a sustituir u opción convencional) como de la opción de reducción de emisiones. Para estimar este VPN, se parte de la vida útil del proyecto con una tasa de descuento del 10% anual.

La comparación económica entre las dos opciones se hace calculando el incremento en los costos como la diferencia entre los de la opción de reducción y los de la opción de referencia.

^a Estas nuevas tecnologías utilizan la energía de manera más eficiente y racional y por lo tanto disminuyen las emisiones de GEI, ya sea por que usan menos energía o por que los productos residuales de la combustión son menores.

Paralelamente se calculan las emisiones de GEI de la opción de referencia y las de la opción de reducción. Las emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ en toneladas por año se calculan empleando los factores de emisión de la metodología del IPCC de 1996 y el consumo de combustibles para cada opción. Luego, todas estas emisiones se reducen a emisiones equivalentes de CO₂. Las dos emisiones se comparan calculando la reducción como la resta entre las emisiones de la opción de referencia menos las de la opción de reducción. Un indicador para valorar la bondad (costo/beneficio) de una opción de reducción de emisiones es el cociente entre el incremento de costos para la opción de reducción y la reducción de las emisiones en equivalente de CO₂.

De manera similar se evalúan las opciones de mitigación para el sector no-energía. En este caso la opción de referencia es dejar las cosas tal como están y las opciones de mitigación están relacionadas con el mejoramiento y ampliación de los sumideros de CO₂ (forestación y reforestación) y con la protección de los depósitos actuales (protección de los bosques naturales, programas de desarrollo sostenible).

Para el caso colombiano, el escenario de penetración de cada tecnología se hizo teniendo en cuenta estudios de determinación del potencial de la tecnología (p.e. cogeneración^{13,14}), las demandas de potenciales de equipos (p.e. iluminación¹⁵), etc. Para la selección de las opciones en el campo de la silvicultura, se partió del conocimiento de experiencias exitosas (por más de 15 años) en reforestación y sistemas silvopastoriles que pueden ser establecidos en regiones que ofrecen posibilidad de desarrollo.

En el análisis de las opciones de reducción de emisiones en energía fue preciso elaborar un Mix de generación en potencia y en energía. El objetivo del mix de energía es estimar los costos promedios de los equipos de generación de energía futuros y las emisiones promedio correspondientes a la ampliación del sistema de generación en el periodo 2000-2010. La tabla 1 muestra la estructura del sector generación de electricidad del país hasta 1996, las adiciones realizadas en el periodo 1996-2000, y las adiciones proyectadas de acuerdo a los escenarios LP1 a LP4, y el total al año 2010 para cada escenario. Como puede fácilmente observarse, el sistema de generación colombiano esta haciendo la transición de un costoso sistema basado en la hidroelectricidad (75.6%) en 1996 pero bajo en emisiones, a uno menos intensivo en capital (hidroelectricidad 51.9%) en el 2010 pero más intensivo en emisiones (gas + carbón 48.1%).

En términos de energía, las opciones de reducción de emisiones deben ser comparadas sobre la base de los costos y las emisiones correspondientes al escenario seleccionado, LP4. Colombia debe diversificar el uso de la canasta de energéticos., en donde el carbón cobra una especial importancia debido entre otros

aspectos, a la gran cantidad de reservas que el país posee y a la robustez que este energético brinda para el sistema de generación, y que constituye una ventaja comparativa frente a la incertidumbre del recurso hidráulico y a los problemas operativos que tiene el gas natural. El escenario LP-4 a pesar de ser el más intensivo en emisiones de CO₂, es ventajoso para el país, si tenemos en cuenta que Colombia es un país productor-exportador de carbón, que este sector genera empleo, que en VPN el costo de inversión en plantas de carbón y el combustible son los más bajos.

El 57.2% de la energía que generará la adición LP4 provendrá de centrales a gas, 27% de centrales a carbón y solamente, 15.7% de centrales hidroeléctricas. La consecuencia inmediata es que los costos de capital decrecen de US\$1300/kW instalado en un sistema 100% hidroeléctrico a US\$836/kW instalado en el mix LP4 pero las emisiones aumentan.

Tabla 1. Estructura de Generación del Sector Eléctrico (potencia)

POTENCIA	Hidro	Carbón	Gas	TOTAL	
Hasta 1996	8017	918	1666	10601 MW	Efectivos
1996-2000	732	150	1783	2665 MW	LP1
2001-2010	2531	450	3607	6588 MW	LP1
TOTAL	11280	1518	7056	19854 MW	LP1
2001-2010	2864	1200	2529		LP2
TOTAL	11613	2268	5978	19859	
2001-2010	2014	900	3342		LP3
TOTAL	10763	1968	6791	19522	
2001-2010	1361	1600	3236	6197	LP4
TOTAL	10110	2668	6685	19463	

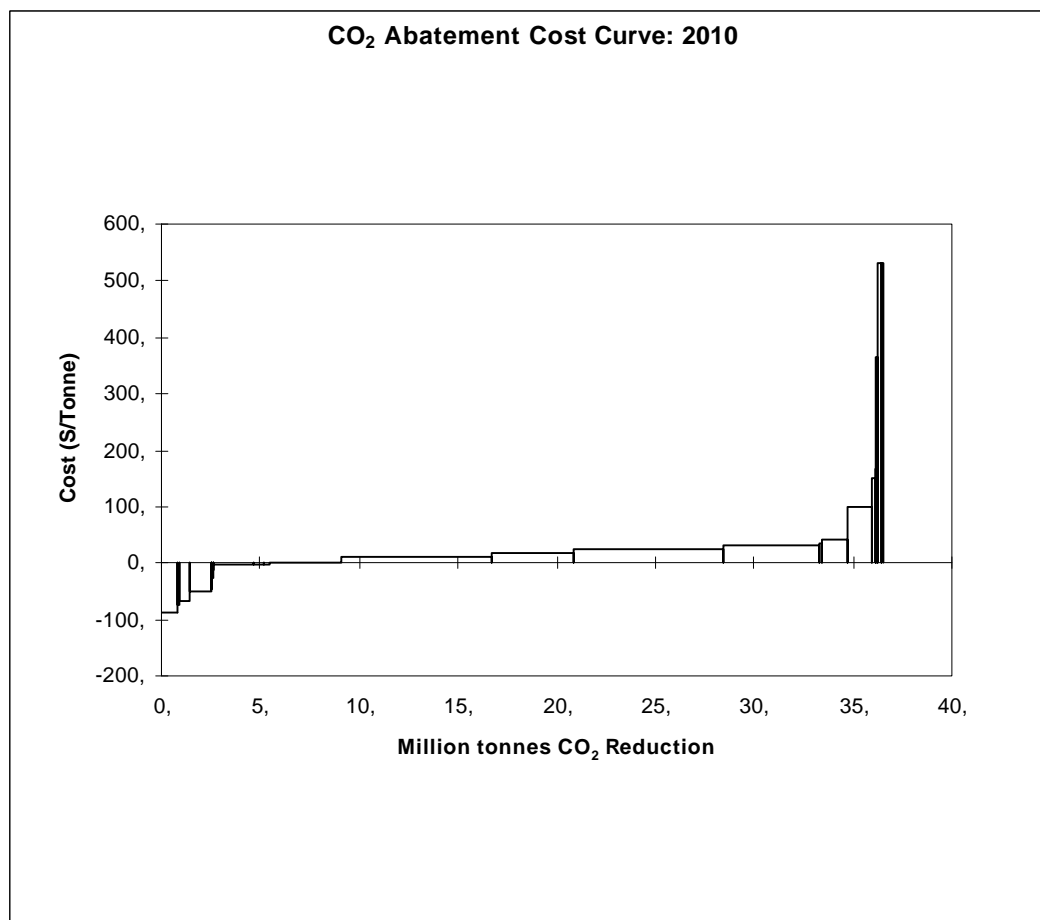
Participación porcentual

	Hidro	Carbón	Gas	TOTAL	Escenario
Hasta 1996	75,6%	8,7%	15,7%	100,0%	
1996-2000	66,0%	8,1%	26,0%	100,0%	
Final 2010	56,8%	7,6%	35,5%	100,0%	LP1
Final 2010	58,5%	11,4%	30,1%	100,0%	LP2
Final 2010	55,1%	10,1%	34,8%	100,0%	LP3
Final 2010	51,9%	13,7%	34,3%	100,0%	LP4

Con las tecnologías seleccionadas y teniendo en cuenta su penetración hasta el año 2010, se desarrolló con la asistencia de Riso y el software GACMO de la UNEP¹⁶ un escenario con 24 opciones de reducción de emisiones. Estas opciones se ordenan de acuerdo a su índice costo-beneficio. La tabla 2 resume los

resultados del escenario de reducción de emisiones construido para el caso colombiano y la figura 8 presenta la curva de costos marginales correspondiente.

Figura 8. Curva de costos para la reducción de emisiones de GEI - Caso Colombia - Horizonte año 2010



En este escenario, el potencial total de reducción de emisiones al año 2010 es de 36.5 Mt de CO₂. De las 24 opciones, diez de ellas presentan un valor negativo para el índice costo-beneficio. Este análisis preliminar no ha considerado los costos de transacción ni los costos de los riesgos asociados con los proyectos. Las opciones del sector forestal son las que tienen mayor impacto en la reducción de emisiones pues representan aproximadamente 24 Mt al año 2010, es decir, 66% del total de las reducciones. El restante 34% del potencial de reducciones se da en el sector energía.

Tabla 2. escenario de reducción de GEI

Version: 28/5-1998 This is the GACMO model, developed by Joergen Fenhann, UNEP Collaborating

Reduction option	\$/tonCO ₂	Unit Type	Emission reduction t CO ₂ /unit	Units penetrating in 2010	Reduction in 2010 Mill.t/year	Cumulative Reduc. 2010 Mill. t/year	Reduction in 2010
Cogeneration (1 MW)	-87	MW	2.061	400	0,82	0,82	0,47%
Timer to DWH	-73	DWH with timer	1	200.000	0,11	0,93	0,53%
Efficient lighting	-69	Bulb	0,05	10.000.000	0,46	1,40	0,80%
Ethanol blend	-51	Plant	111.923	10	1,12	2,52	1,44%
Efficient motors	-48	kW	1,4	14.000	0,02	2,54	1,45%
Hydro Vs. CC	-26	MW	52	1.361	0,07	2,61	1,49%
Methane from sewage	-13	Plant	966	10	0,01	2,62	1,50%
Efficient boilers	-2	1 Boiler	4.164	500	2,08	4,70	2,69%
Gas trucks	-2	1 Small truck	16	26.910	0,43	5,12	2,93%
Gas buses	-2	1 Bus	16	22.425	0,35	5,48	3,14%
Solar heater	0	Solar heater	2,1	100.000	0,21	5,69	3,26%
Biogas from landfills	1	Landfill	689.816	5	3,45	9,14	5,23%
Eucalip to Afforestation	11	14 ha	252	30.000	7,56	16,70	9,56%
Protecoreforestation	18	ha	18	231.000	4,20	20,90	11,97%
Pine Afforestation	25	14 ha	252	30.000	7,56	28,46	16,30%
TECA-Afforestation	31	14 ha	161	30.000	4,84	33,30	19,07%
Wind turbines	36	kW	1,5	100.000	0,15	33,45	19,15%
Minihydro power	43	kW	6,2	200.000	1,24	34,69	19,87%
Microhydro	101	kW	1,1	1.000	1,24	35,94	20,58%
Gastaxis	149	1 Taxi	3,5	65.665	0,23	36,17	20,71%
Biogas for rural households	168	Digester	0,4	5.000	0,00	36,17	20,71%
Close Cycle	365	MW	73	1.500	0,11	36,28	20,78%
Combined Cycle	531	MW	75	3.000	0,22	36,51	20,90%
PV electricity 1	532	kW	1,1	20.000	0,02	36,53	20,92%

24

Total Emission in 2010: 174,63 Million tonnes

Las opciones de indicador positivo corresponden a las de reforestación, energías alternativas y a la modernización del sector generación de electricidad.

El potencial de las opciones de reforestación resulta muy bondadoso 24 Mt/año, pensando en involucrar a 90.000 familias.

En el sector energía resultan 14 opciones de reducción de emisiones con un potencial de 12,5 Mt/año. De estas opciones se destacan por su potencial y por su viabilidad técnico-económica las siguientes: en el sector industrial; cogeneración y calderas eficientes, en el sector de generación de electricidad; biogás de relleno sanitario para generación, generación eólica, generación con mini y micro centrales y celdas fotovoltaicas para electrificación rural y en el sector transporte gasolina con alcohol obtenido a partir de caña de azúcar. Las opciones de sustitución de gasolina por gas natural en el transporte público no resultan muy favorables económicamente, pues, la gasolina en precio real, sin subsidio y sin impuestos resulta mas barata que el gas natural

IMPACTO MACROECONOMICO DE LAS OPCIONES DE REDUCCION DE EMISIONES

Colombia es un país de ingreso medio bajo, cuyo desempeño económico en el largo plazo ha sido promedio en el contexto latinoamericano, pero que en los últimos años ha registrado señales de deterioro económico. Ha pasado de crecer a más del 5.0% entre 1993-95 a sólo 2.8% en 1998 y se prevé que en 1999 lo hará a 2.0%. Sólo a partir del año 2000 se espera una recuperación de la economía, registrándose en el 2002 niveles de crecimiento superiores al 5.0%. En los noventa, el sector primario redujo significativamente su crecimiento, el sector industrial no ha registrado el dinamismo esperado, mientras que el sector terciario ha crecido.

Colombia registra en la década de los noventa un dramático incremento del desempleo. Este ascendió a 15.1% en septiembre de 1998. Los más afectados son los grupos menos educados y los menos favorecidos de la población. El panorama laboral no es alentador en la actualidad, a raíz de la crisis fiscal, debido a que los sectores dinámicos no han podido absorber a los desempleados y debido a factores de tipo estructural del mercado laboral.

En los noventa, continúan habiendo en el país una marcada desigualdad en la distribución del ingreso (Gini: 0.47), una alta inequidad y niveles alarmantes de pobreza: 55.0% de la población se encuentra debajo de la línea de pobreza y 20.0% incluso por debajo de la línea de indigencia.

La cuenta corriente de la balanza de pagos se ha deteriorado, pasando de un superávit de 5.5% del PIB en 1991 a un déficit de 6.6% en 1998. Se pretende

reducirlo a 3.5% del PIB en el año 2002. Este se debe a un creciente déficit comercial, transferencias netas menores y una balanza de servicios crecientemente negativa desde 1995. La balanza comercial pasó de un superávit de 7.0% del PIB en 1991 a un déficit de 3.8% en 1998. Se prevé reducirlo a 0.2% del PIB para el año 2002. La cuenta de capital registró un creciente superávit entre 1992-96, alcanzando un 8.3% del PIB, el cual se redujo entre 1997-98 a 4.8%. En 1999 aumentará a 6.2% del PIB y se reducirá hasta el año 2002 a 4.0%.

El déficit fiscal también se ha ahondado en los noventa. Gran parte del problema es atribuible al Gobierno Central, y particularmente a sus gastos corrientes, especialmente transferencias y servicios personales.

El programa de reducción de emisiones de GEI analizado contempla 24 opciones cuyos costos se presentan de forma resumida en la tabla 3. El total es de Millones US\$17.344 mientras que la opción de referencia tan solo es de Millones US\$1.623. Esta diferencia se debe a que la mayor parte de los proyectos son nuevos y corresponden principalmente a proyectos extensivos de reforestación (Millones US\$12.139 o sea el 69.9%). Las otras opciones representan la introducción de nuevas tecnologías vs "dejar que las cosas continúen igual" ("business as usual"; costo de referencia 0). Frente a esta opción, las opciones de nuevas tecnologías propuestas representan un incremento en la inversión de Millones US\$5.204. Resalta la existencia de múltiples opciones con un alto componente nacional, en particular de las opciones de mitigación, basadas en reforestación con teca (*Tectona Grandis*) pino, eucalipto y la reforestación de protección. Una primera estimación permite establecer que estos proyectos generarían en los períodos considerados alrededor de 186,600 empleos directos y su componente nacional sería de 100%. Los proyectos de nuevas tecnologías tienen poca componente nacional y no generan muchos empleos directos frente a las opciones forestales.

La realización del total de proyectos implicaría un costo estimado de alrededor 1.7% del PIB anual.

El desarrollo de estos proyectos, fundamentalmente de aquellos de reforestación que son los generadores de empleo, es importante de considerar no sólo dentro del contexto ambiental, sino también como alternativa importante para el logro de los objetivos de *Cambio para construir la paz*.

TABLA 3. COSTOS E IMPACTOS DE LAS OPCIONES DE MITIGACION

Reduction option	Units penetrating in 2010	Unit Type	Total Investment M US \$	Total Reference M US \$	Componente Nacional %	Componente Importado %
Cogeneration (1 MW)	400	Mw	212	73	30	70
Timer to DWH	200.000	DWH with timer	8	0	25	75
Efficient lighting	10	1 million Bulbs	80	40	100	0
Ethanol blend	10	Plant	400	0		
Efficient motors	14.000	kW	6	0	90	10
Hydro Vs. CC	1.361	MW	2	1		
Efficient boilers	500	tonnes	49	0	10	90
Gas trucks	26.910	1 small truck	60	0		
Gas buses	22.425	1 bus	50	0		
Methane from sewage	10	plant	1	0	30	70
Biogas from landfills	5	Landfill	88	0	30	70
Solar heater	100.000	Solar heater	100	15	70	30
Eucalipto Afforestation	30.000	14 ha	3371	0	100	0
Protector reforestation	231.000	1 ha =	711	0	100	
Pine Afforestation	30.000	14 ha	3575	0	100	0
TECA-Afforestation	30.000	14 ha	4482	0	100	0
Wind turbines	100.000	kW	140	53	30	70
Minihydro power	200.000	kW	1386	120	90	10
Microhydro	1.000	kW	3	2	90	10
Gas taxis	65.665	1 taxi	146	0		
Biogas for rural households	5.000	digesters	13	0	100	0
Close Cycle	1.500	MW	340	0	10	90
Combined Cycle	3.000	MW	1940	1260	10	90
PV electricity 1	20.000	kW	180	60	50	50
24			17344	1623		

De una parte, los proyectos son plenamente consistentes con los propósitos ambientales del Gobierno, por ejemplo con el plan de bosques que pretende avanzar en la restauración y conservación de eco-regiones estratégicas para mejorar la calidad de vida de la población, con la producción limpia y con el objetivo de propender por una mayor calidad de vida urbana. De otra, aún más importante dentro del contexto colombiano, es que varias de las opciones de mitigación de GEI identificadas, podrían contribuir al proceso de paz mediante la inversión y generación de empleo en zonas de conflicto social, aliviando así el problema de migración a las zonas urbanas. Actualmente se está considerando la creación de una bolsa de carbono en donde los países avanzados compran reducción de emisiones de GEI, en razón de los compromisos asumidos a nivel internacional en materia ambiental. Colombia debe considerar la posibilidad de utilizar efectivamente este mecanismo para atraer inversión extranjera al país, contribuir al desarrollo y a un mayor nivel de vida en las zonas más marginadas, a la vez que aporta al objetivo global de preservación del medio ambiente.

En el estudio se consideran algunos lineamientos generales para la elaboración de un Plan Nacional para la Reducción de Emisiones en Colombia (ver informe completo).

REFERENCIAS

- ¹ González, F. **Inventario de Gases de Efecto Invernadero - Colombia 1990**. Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1998) Bogotá
- ² Halsnæs, K., J. Callaway and H. Meyer. The Economics of Greenhouse Gas Limitation - Technical Guidelines. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Risø National Laboratory (February 1998) Roskilde, Denmark.
- ³ Halsnæs, K., G. Mackenzie, J.M. Christensen, J. Swisher, A.. Villavicencio. UNEP Greenhouse Abatement Costing Studies. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Risø National Laboratory (February 1998) Roskilde, Denmark.
- ⁴ Sathaye, J. and S. Meyers. **Greenhouse Gas Mitigation Assessment: A Guidebook**. Kluwer Academic Publishers (1995) Dordrecht, Holland
- ⁵ UPME. **PEN: Plan Energético Nacional 1997-2010. Autosuficiencia energética sostenible**. UPME (1997) Bogotá
- ⁶ UPME. **Plan de Expansión de Referencia 1996-2010. Revisión 1996** UPME (1996) Bogotá
- ⁷ UPME. **Balances Energéticos Consolidados 1975-1996. Revisión 1997**. UPME (1997) Bogotá
- ⁸ IAEA-ANL . ENPEP: Energy and Power Evaluation Program
- ⁹ SIEF. Sistema de Información Estadística Forestal. (1998). Ministerio del Medio Ambiente. Reporte de Trabajo. Bogotá
- ¹⁰ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. **Plan Estratégico para la Restauración y el Establecimiento de Bosques en Colombia (Plan Verde)**. Dirección General de Ecosistemas (1988) Bogotá
- ¹¹ IPCC/OECD/IEA. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual - First Draft. Volume 1. Bracknell. (1996) U.K.
- ¹² US - EPA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP-42. Fifth Edition. Washington (1996) USA
- ¹³ UPME Potencial de Cogeneración del Sector Industrial de Colombia, AENE para UPME, Ministerio de Minas y Energía. (1997) Bogotá, Colombia
- ¹⁴ UPME Potencial de Cogeneración del Sector Terciario de Colombia, AENE para UPME, Ministerio de Minas y Energía. (1998) Bogotá, Colombia
- ¹⁵ INEA. Directiva Ministerial sobre Alumbrado Público. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (1995) Bogotá, Colombia
- ¹⁶ Fenham, Joergen. GACMO. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Risoe Labs. (1998) Roskilde. Dinamarca