

# OPCIONES PARA LA REDUCCION DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI), COLOMBIA 1998-2010

por

Humberto Rodríguez M.\* & Fabio González B.\*\*

## Resumen

**Rodríguez M. H. & F. González B.:** Opciones para la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI), Colombia 1998-2010. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(89): 507-515, 1999. ISSN 0370-3908.

A partir de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia y su proyección al año 2010, se evaluaron desde el punto de vista técnico y económico diferentes opciones para la reducción de emisiones de los sectores energía y no-energía. Se encontraron 24 opciones con un potencial total de reducción de 31.7 Mton/año de CO<sub>2</sub> equivalente. De estas se destacan las opciones del sector forestal, las cuales representan más del 75% de este potencial. El restante 25% se tiene en proyectos del sector energía. De desarrollarse estas opciones, no solamente se alcanzarían las emisiones del año 90 sino que éstas se reducirían aun en 14%.

**Palabras clave:** Reducción de Emisiones, Gases de efecto invernadero, Colombia, Opciones, Mitigación

## Abstract

Taking into account the Greenhouse Gas Emissions for Colombia in year 2010, different options for reduction of GHG emissions were considered. Twenty-four options were evaluated from economical and technical points of view, with a total reduction potential of 31.7 Mton/year of CO<sub>2</sub> equivalent. About 75% of this potential could be developed in the forestry sector and 25% in energy projects. If the proposed measures can to be implemented, the country's emissions will be 143.5 Mton/year of CO<sub>2</sub> by 2010; this means that Colombia will have lowered its emissions not only to the 1990 level but down to 14% below this level.

**Key words:** Emissions Reduction, Greenhouse Gas Emissions, Colombia, Mitigation Options.

\* Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., email: hrodrig@colciencias.gov.co

\*\* Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., email: fgonzal@ciencias.ciencias.unal.edu.co

## 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 puedan 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*<sup>1</sup>. Como con-

tinuación de este estudio, la ACCEFYN (nuevamente con el apoyo de la GTZ) realizó durante 1998 el presente estudio *Opciones para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia 1998-2010*, dentro del cual se realizó una proyección de estas emisiones al año 2010<sup>2</sup>. Este estudio se realizó siguiendo las guías metodológicas desarrolladas por la UNEP<sup>3,4</sup> y el US Country Studies Programm<sup>5</sup>. El propósito de adoptar metodologías internacionalmente aceptadas es facilitar la comparación de los resultados entre países.

Este artículo 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\*.

## Opciones de reducción de emisiones

La opción de reducción de emisiones consiste en sustituir la tecnología actual por una de las nuevas tecnologías\*\* 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<sup>1,2</sup> considera la vida útil del proyecto, los costos de inversión, O&M, y el costo de los combustibles 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

\* 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.

\*\* 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.

opción de referencia. Un incremento negativo significa que la opción de reducción propuesta es económicamente más ventajosa que la opción de referencia.

Paralelamente se calculan las emisiones de GEI de la opción de referencia y las de la opción de reducción. Las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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. Una reducción positiva indica que la nueva opción reduce las emisiones de GEI a la atmósfera. 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 CO<sub>2</sub>. La unidad de este índice es US\$/t de CO<sub>2</sub> equivalente.

Este índice de costo-beneficio puede resultar negativo, cero o positivo. Un índice negativo significa que la opción es ventajosa económicamente y además reduce emisiones de GEI. Puesto que es viable económicamente, esta opción denominada en inglés "non regret", ya debería haberse implementado puesto que ya están dadas las condiciones económicas para su ejecución. Un índice positivo indica que la opción no es económicamente ventajosa y su implementación dependerá finalmente de un apoyo económico justificado por las ventajas medioambientales y/o por las condiciones muy particulares de la aplicación.

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 CO<sub>2</sub> (forestación y reforestación) y con la protección de los depósitos actuales (protección de los bosques naturales, programas de desarrollo sostenible). En este caso también se pueden encontrar opciones con indicador negativo.

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<sup>6,7</sup>), las demandas de potenciales de equipos (p.e. iluminación<sup>8</sup>), 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 de la potencia 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 está 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%).

**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		
<b>Participación porcentual</b>						
	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

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. En la Tabla 2 se observa que 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 2. Descripción del Mix para Colombia 2001-2010

Inversión	836 US\$/kW			Tiempo de vida	20 Años
Factor de capacidad	7488 Horas			Eficiencia promedio	0,433
Pérdidas	12%			Operación y mantenimiento	3,0%
	<b>Hidroelectricidad</b>	<b>Carbón</b>	<b>Gas natural</b>		
Inversión	1300	1200	460		US\$/kW
Tiempo de vida	20	20	20		Años
Factor de capacidad	5361,79	7841,25	8207,97		horas
Eficiencia promedio	95%	33%	34%		
Pérdidas	12%	12%	12%		
Operación y mantenimiento	1,50%	1,50%	1,50%		
Energía total generada	46404	GWh/año			
Participación porcentual	15,7%	27,0%	57,2%		100%
Energía anual generada	7297	12546	26561		GWh/año
Potencia total instalada	6197	MW			
Participación porcentual	22,0%	25,8%	52,2%		100%
Potencia instalada	1361	1600	3236		MW

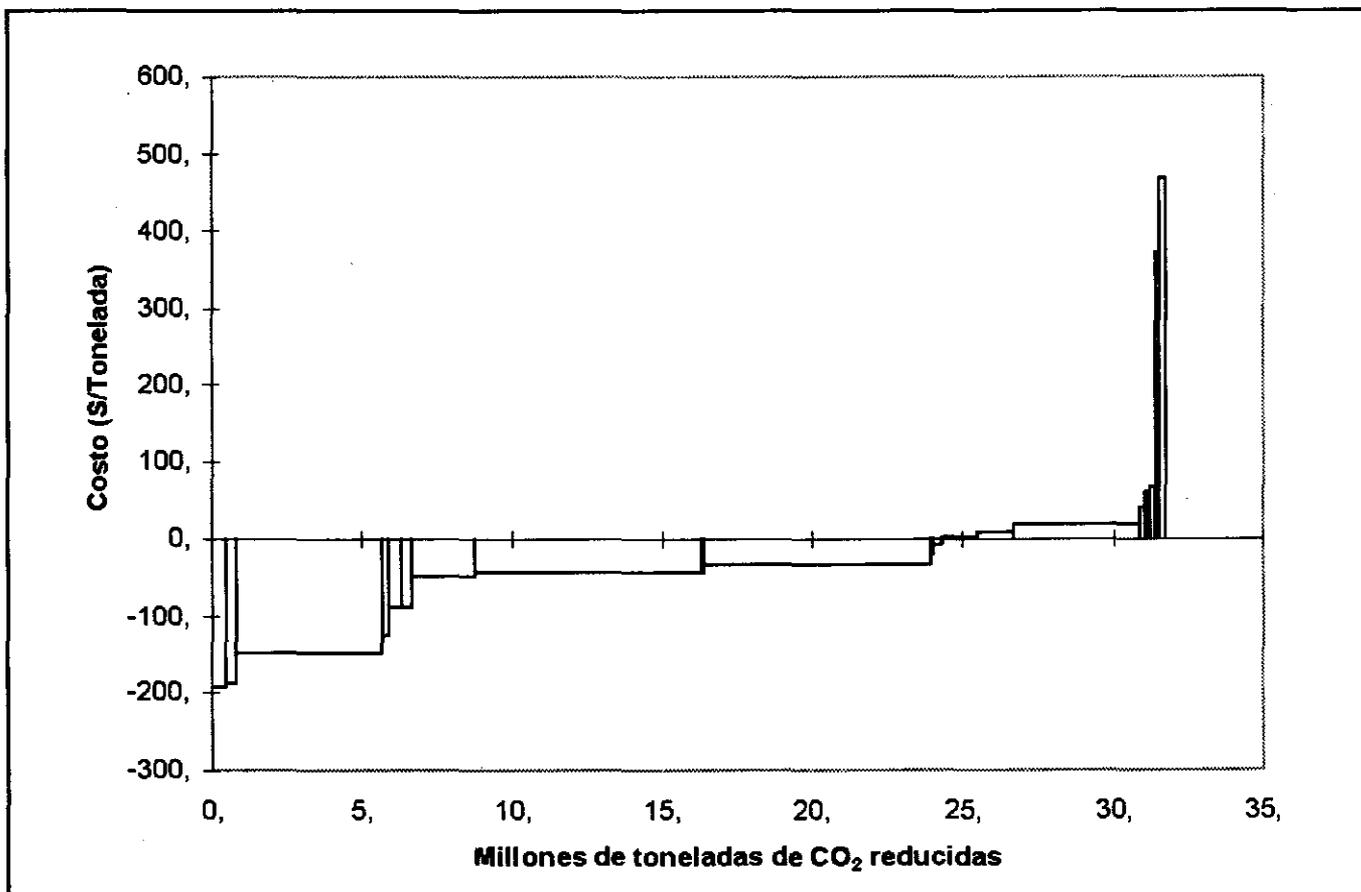


TABLA 3. ESCENARIO DE MITIGACION

Reduction option	US\$/tonCO2	Unit Type	Emission reduction t CO2/unit	Units penetrating in 2010	Reduction in 2010 Mill.t/year	Cumulative Reduc. 2010 Mill. t/year	Reduction in 2010
Cogeneration (1 MW)	-193	1 MW	1235	400	0,49	0,49	0,28%
Efficient lighting	-188	Bulb	0,03	10.000.000	0,33	0,83	0,47%
TECA-Afforestation	-149	14 ha	161	30.000	4,84	5,67	3,25%
Ethanol blend	-124	Plant	43542	5	0,22	5,89	3,37%
Gastrucks	-88	1 Small truck	16	26.910	0,43	6,31	3,61%
Gasbuses	-88	1 Bus	16	22.425	0,35	6,67	3,82%
Efficient boilers	-49	1 Boiler	4164	500	2,08	8,75	5,01%
Pine Afforestation	-42	14 ha	252	30.000	7,56	16,31	9,34%
Timer to DWH	-42	DWH with timer	0	200.000	0,08	16,39	9,39%
Eucalipto Afforestation	-32	14 ha	252	30.000	7,56	23,95	13,72%
Methane from sewage	-28	Plant	966	10	0,01	23,96	13,72%
Hydro Vs. CC	-20	MW	52	1.361	0,07	24,03	13,76%
Gastaxies	-9	1 Taxi	4	65.665	0,23	24,26	13,89%
Efficient motors	-7	kW	3	14.000	0,05	24,31	13,92%
Biogas from landfills	3	Landfill	381261	3	1,14	25,46	14,58%
Minihydro power	8	kW	6	200.000	1,24	26,70	15,29%
Protector reforestation	18	1 ha	18	231.000	4,20	30,90	17,69%
Wind turbines	41	kW	1	100.000	0,15	31,05	17,78%
Biogas for rural househ	59	Digesters	7	5.000	0,04	31,08	17,80%
Solarheater	60	Solarheater	2	100.000	0,15	31,24	17,89%
Microhydro	67	kW	1	1.000	0,15	31,39	17,97%
Close Cicle	371	MW	73	1.500	0,11	31,50	18,04%
PV electricity 1	428	kW	1	20.000	0,02	31,52	18,05%
Combined Cicle	469	MW	75	3.000	0,22	31,74	18,18%

Number Options: 24

Total Emissions in 2010:

174,63 Million tonnes

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 UNEP<sup>9</sup> un escenario con 24 opciones de reducción de emisiones. Estas opciones se ordenan de acuerdo a su índice costo-beneficio. La tabla 3 resume los resultados del escenario de reducción de emisiones construido para el caso colombiano y la figura 1 presenta la curva de costos marginales correspondiente.

En este escenario, el potencial total de reducción de emisiones al año 2010 es de 31.7 Mton de CO<sub>2</sub>. De las 24 opciones, catorce de ellas presentan un valor negativo para el índice costo-beneficio. Este valor negativo indica que se trata de una opción que es actualmente ventajosa económicamente y que además de ello, tiene el beneficio ambiental de la reducción de emisiones. Entre estas opciones se destacan las del sector forestal, las cuales son las que tienen mayor impacto en la reducción de emisiones pues representan aproximadamente 24 Mton al año 2010, es decir, más del 75% del total de las reducciones. El restante 25% del potencial de reducciones se da en el sector energía.

Las diez opciones restantes son de indicador positivo y corresponden a aplicaciones de «fuentes de energía alternativas» y a la opción «Reforestación de Protección».

Las opciones de reforestación corresponden a tres tipos de proyectos, a saber:

1. **Reforestación de protección.** Se trata de reforestar en áreas de protección de acuíferos o en regiones inhabitadas, tal como alta montaña. Los costos de esta opción tienen que ver con la compra del terreno y con los costos asociados a la siembra y el mantenimiento durante los primeros cuatro años, después de lo cual se abandona el bosque. Esta opción resulta de costo unitario positivo.
2. **Reforestación con aprovechamiento comercial.** Se trata de proyectos modulados a 14 hectáreas en regiones deprimidas del país (llanos orientales o costa atlántica). Estos proyectos dan empleo a una familia por módulo. 3 ha se emplean para el mantenimiento de la familia. Las restantes 11 ha se reforestan con *Pinus Caribea*. La madera resultante se explota comercialmente con un período de rotación de 15 años. Estos proyectos resultan con costo unitario negativo, dado que lo invertido se recupera con la venta de la madera al final del período de rotación.
3. **Reforestación con ganadería y aprovechamiento comercial.** Se trata de pequeños proyectos modulares de 14 ha, familiares como el anterior,

en los cuales además de la explotación comercial de la madera existe ganadería, 21 reses por proyecto, el cual resulta viable por el tipo de especie de reforestación (Eucalipto, con rotación de 8 años y TECA con período de rotación de 20 años). Estos proyectos resultan con costo unitario negativo porque además de la venta de madera al final del período de rotación, se tiene la venta de ganado cada 2 años a partir del cuarto año.

El potencial de las opciones de reforestación resulta muy bondadoso 24 Mton/año, pensando en involucrar a 90.000 familias en los proyectos de tipo 2 y 3. Este escenario es optimista en el sentido de que se considera que todo el CO<sub>2</sub> capturado en los bosques plantados en forma de madera se conservará por largo tiempo, a pesar de que se explote comercialmente.

En el sector energía resultan 10 opciones de reducción de emisiones con un potencial de apenas 7.7 Mton/año. Este potencial es reducido debido a que la componente hidroeléctrica en el sistema actual es muy alta (76% en potencia en 1996) y en el año 2010 a pesar de las adiciones del escenario LP4, el sistema seguirá siendo bajo en emisiones como corresponde a un sistema con el 52% de la potencia de origen hidroeléctrico.

Dentro de la perspectiva del caso base de emisiones al año 2010, la reducción de 31.7 Mton de CO<sub>2</sub> correspondería a aproximadamente el 20% de las emisiones esperadas para esa época, de aproximadamente 174 Mton. En el caso de que se lograran desarrollar las medidas propuestas, las emisiones del país serían de 143.5 Mton de CO<sub>2</sub>, las cuales comparadas con las emisiones del año de 1990 de 167 Mton de CO<sub>2</sub>, significaría que no solamente se habría alcanzado el nivel de emisiones del año 1990 sino que además el país reduciría sus emisiones en un 14% con relación a este año.

Si de las opciones propuestas solo se desarrollaran las correspondientes al sector energía, las emisiones netas al año 2010 serían de 166 Mton, retornando al nivel de emisiones correspondientes al año 1990.

Comparado este escenario de reducción de emisiones con los escenarios de otros países como Senegal, Venezuela, Tailandia, Zimbabue y Brasil<sup>1</sup>, el escenario de mitigación para el caso colombiano arroja reducciones totales comparables a las de estos países, pero a diferencia de ellos, en Colombia se tienen opciones de mitigación supremamente ventajosas económicamente y acordes con las principales tendencias políticas del gobierno hacia el sector agropecuario y silvicultural, y al desarrollo de sus programas de eficiencia energética.

## Impacto macroeconómico de las opciones de reducción 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 4. El total es de Millones US\$24.226 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\$19.756 o sea el 81.5%). 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\$4.470. 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 2.0-2.5% del PIB anualmente.

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*.

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.

Tabla 4. Costos e impactos de las opciones de mitigación

Reduction option	Units penetrating in 2010	Unit Type	Total Investment M US\$	Total Reference M US\$	Increase M US\$	Option - National Share (%)	Option - Imported Share (%)	Option - Direct Job Generation
TECA-Afforestation	30,000	14 ha	8,511	0	8,511	100	0	60,000
Cogeneration (1MW)	400	1 MW plant	212	73	139	30	70	0
Efficient lighting	10	1 million Bulbs	80	40	40	100	0	0
Ethanol blend	5	1 Plant	9	0	9			
Gastrucks	26,910	1 small truck	60	0	60			
Gasbuses	22,425	1 bus	50	0	50			
Efficient boilers	500	1 boiler	49	0	49	10	90	50
Timer to DWH	200,000	1 DWH with timer	8	0	8	25	75	
Pine Afforestation	30,000	14 ha	5,774	0	5,774	100	0	60,000
Eucalipto Afforestation	30,000	14 ha	4,460	0	4,460	100	0	60,000
Hydro vs CC	1,361	MW	2	1	2			
Gastaxies	65,665	1 taxi	146	0	146			
Efficient motors	14,000	kW	6	0	6	90	10	
Methane from sewage	10	1 plant	1	0	1	30	70	
Biogas from landfills	3	1 Landfill plant	44	0	44	30	70	
Minihydro power	200,000	kW	1,386	120	1,266	90	10	
Protector reforestation	231,000	1 ha	711	0	711	100		6,600
Wind turbines	100,000	kW	140	53	87	30	70	
Biogas for rural households	5,000	digesters	13	0	13	100	0	
Solarheater	100,000	Solarheater	100	15	85	70	30	
Microhydro	1,000	kW	3	2	2	90	10	
Close Cycle	1,500	MW	340	0	340	10	90	
PV electricity 1	20,000	kW	180	60	120	50	50	
Combined Cicle	3,000	MW	1,940	1,260	680	10	90	
<b>TOTAL 24</b>			<b>24,226</b>	<b>1,623</b>	<b>22,603</b>			<b>186,650</b>

## Conclusiones

El presente estudio muestra que es posible desarrollar en el país proyectos para la reducción de emisiones de GEI con beneficios económicos, sociales y ambientales. Se espera que estas opciones aquí evaluadas sean consideradas por el Ministerio del Medio Ambiente para la formulación de su Plan de Reducción de Emisiones.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Medio Ambiente y a la Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME) del Ministerio de Minas y Energía, por la información y cooperación prestada. También expresan su gratitud a la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) (H. Liptow, B. Boessl, C. Maennling), por la cooperación, asistencia y soporte financiero. Esta gratitud también se hace extensiva a J. Fenham y A. Villavicencio del RisØ National Laboratory de Dinamarca, y a M. Cames del Oeko Institut de Berlín, por la asistencia técnica prestada.

## Referencias

1 **González, F.** 1998. Inventario de Gases de Efecto Invernadero, Colombia 1990. Academia Colombiana de Ciencias. Colección Jorge Alvarez Lleras 11. Bogotá.

2 **González, F. & H. Rodríguez,** 1990. *Proyección de la emisiones de GEI Colombia 1998-2010*. Rev. Acad. Colomb. Cinc. 23 (99): 497-505.

3 **Halsnæs, K., J. Callaway & H. Meyer.** *The Economics of Greenhouse Gas Limitation - Technical Guidelines*. UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. RisØ National Laboratory (February 1998) Roskilde, Denmark.

4 \_\_\_\_\_, **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.

5 **Sathaye, J. & S. Meyers.** *Greenhouse Gas Mitigation Assessment: A Guidebook*. Kluwer Academic Publishers (1995) Dordrecht, Holland.

6 **UPME** *Potencial de Cogeneración del Sector Industrial de Colombia*, AENE para UPME, Ministerio de Minas y Energía. (1997) Bogotá, Colombia.

7 **UPME** *Potencial de Cogeneración del Sector Terciario de Colombia*, AENE para UPME, Ministerio de Minas y Energía. (1998) Bogotá, Colombia

8 **INEA.** *Directiva Ministerial sobre Alumbrado Público*. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (1995) Bogotá, Colombia

9 **Fenham, J. GACMO.** UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. Risoe Labs. (1998) Roskilde. Dinamarca