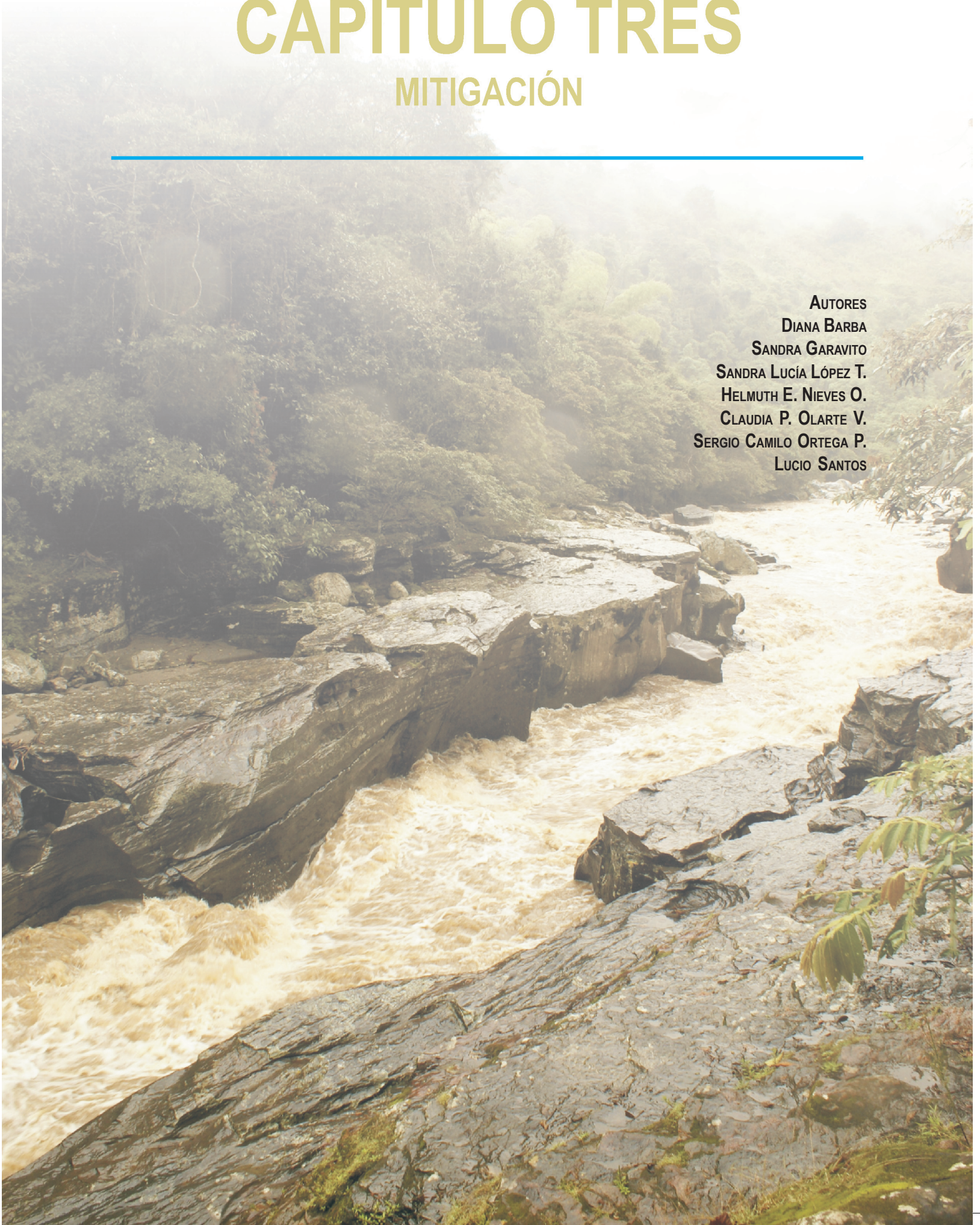


# CAPÍTULO TRES

## MITIGACIÓN

---

**AUTORES**  
**DIANA BARBA**  
**SANDRA GARAVITO**  
**SANDRA LUCÍA LÓPEZ T.**  
**HELMUTH E. NIEVES O.**  
**CLAUDIA P. OLARTE V.**  
**SERGIO CAMILO ORTEGA P.**  
**LUCIO SANTOS**





**Colaboradores**

**DNP - Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible**

Ana María Loboguerrero, Giampiero Renzoni

**MAVDT - Grupo de Mitigación al Cambio Climático**

Andrea García

**Ideam**

Juanita González L., Pedro Simón Lamprea Quiroga, Adriana Pedraza G.,  
Lina Lucía Sánchez M.

**UPME - Subdirección de Energía**

Olga Victoria González

**Banco Mundial**

Julian Chará, Enrique Murgueitio, Juan Pablo Ruiz, Adriana Soto

**Coordinación y supervisión**

Mauricio Cabrera L.

Martha Duarte O.

Margarita Gutiérrez A.

Ricardo J. Lozano P.

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	157
<b>3.1 ANTECEDENTES Y MARCO GENERAL</b> .....	57
<b>3.2 POLÍTICAS Y PLANES DE CARÁCTER NACIONAL ASOCIADOS CON LA MITIGACIÓN</b> .....	158
3.2.1. Lineamientos de Política de cambio climático .....	159
3.2.2. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2002-2006. Hacia un Estado comunitario .....	160
3.2.3. Estrategia para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático .....	160
3.2.4. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2006-2010. Estado comunitario: Desarrollo para todos .....	161
3.2.5. Visión Colombia II Centenario 2019 .....	161
3.2.6. Acuerdos de cooperación multilateral .....	162
<b>3.3 ESTRATEGIAS Y PLANES SECTORIALES</b> .....	162
3.3.1 Sector energético .....	162
3.3.2 Sector transporte .....	170
3.3.3 Sector industrial .....	173
3.3.4 Sector uso del suelo, cambio de uso y silvicultura (Uscuss) .....	173
3.3.5 Sector agricultura .....	177
3.3.6 Sector residuos .....	180
<b>3.4 PARTICIPACIÓN COLOMBIANA EN EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO</b> .....	183
3.4.1. Instrumentos financieros asociados con la mitigación del cambio climático .....	184
<b>3.5 PRIORIDADES DE MITIGACIÓN DE ACUERDO AL INVENTARIO DE GEI</b> .....	184
3.5.1. Sector pecuario .....	185
3.5.2. Sector agrícola y forestal .....	185
3.5.3. Sector energía .....	186
<b>3.6 CONCLUSIONES</b> .....	186
<b>3.7 RECOMENDACIONES</b> .....	187
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	189

	Página
<b>CONTENIDO DE TABLAS</b>	
Tabla 3.1 Planes, programas y medidas de mitigación del sector energético .....	165
Tabla 3.2 Potencial de reducción de emisiones por la implementación del SITM en las principales ciudades del país .....	171
Tabla 3.3 Reforestación (ha) protectora, comercial y caucho .....	174
Tabla 3.4 Portafolio colombiano de proyectos bajo el MDL .....	183
<b>CONTENIDO DE FIGURAS</b>	
Figura 3.1 Potencial de reducción de emisiones para diferentes estrategias de mitigación (Mt de CO <sub>2</sub> ) .....	166
Figura 3.2 Potencial de reducción de emisiones para diferentes estrategias de mitigación (M t de CO <sub>2</sub> ) .....	167
Figura 3.3 Radiación solar global, promedio multianual (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	168
Figura 3.4 Densidad de la energía eólica a 50 m de altura, promedio multianual .....	169
Figura 3.5. Medidas de mitigación que adoptarían los empresarios colombianos para enfrentar el cambio climático .....	173
Figura 3.6 Reforestación protectora, comercial y caucho, años: 2002-2007 .....	175
Figura 3.7 Evolución de la disposición final de residuos sólidos en Colombia: 2002-2008 .....	181
<b>CONTENIDO DE CUADROS</b>	
Cuadro 3.1 Aspectos conceptuales de la mitigación .....	158
Cuadro 3.2 El proceso de desnitrificación .....	185
Cuadro 3.3 Biofertilizantes y la agricultura .....	186
<b>CONTENIDO DE FOTOS</b>	
Foto 3.1 Portada Capítulo 3. Estrecho del Magdalena - Isnos (Huila). Mario G. González G. 2009. ....	153

## INTRODUCCIÓN

El propósito de este componente es presentar los principales instrumentos de política y las acciones que en materia de mitigación, como la intervención humana para reducir el forzamiento antropógeno del sistema climático se han diseñado en el país y otras acciones previstas para implementar en el corto, mediano y largo plazo.

De acuerdo con lo estipulado en los Artículos 4.1 y 12.1 de la CMNUCC<sup>1</sup>, se insta a las partes a desarrollar programas y medidas nacionales y regionales, donde proceda, que resulten en la mitigación del cambio climático inducido por el hombre. Tales medidas pueden contribuir a reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o aumentar el almacenamiento terrestre de carbono (UNFCCC<sup>2</sup>, 2003). Teniendo en consideración la decisión 17 de la octava Conferencia de la Partes de la Convención, la cual orienta el desarrollo y alcance de las Segundas Comunicaciones Nacionales para países No Anexo I, este documento presenta las políticas públicas a nivel nacional y sectorial, asociadas con la visión de desarrollo del país y que, a su vez, guardan una estrecha relación y promueven la reducción de emisiones de GEI, además de políticas, planes y programas diseñados exclusivamente con dicho fin.

Colombia, si bien no tiene compromisos de reducción de emisiones y participa marginalmente en las emisiones de GEI con alrededor de 0,37% de las emisiones globales, ha desarrollado e implementado diferentes políticas que promueven el desarrollo sostenible y el crecimiento económico asociado con bajas emisiones de GEI, reflejando así una evolución en materia de mitigación a nivel nacional.

Este documento se desarrolla en siete secciones: en las dos primeras se exponen los principales antecedentes y la evolución del marco legislativo y político, generados para implementar e integrar programas y medidas que se orientan a maximizar los beneficios provenientes de la reducción de emisiones de GEI. En la tercera sección, guardando un rigor subsidiario frente a las políticas nacionales, se presentan los principales instrumentos de política de carácter sectorial, planes y programas que guardan una adecuada articulación y que contribuyen a la mitigación. En la cuarta sección se determina la participación colombiana en el mecanismo de desarrollo limpio MDL, en la quinta se presentan algunas prioridades de mitigación para el país teniendo en cuenta los resultados del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y en las últimas secciones sexta y séptima se plantean las conclusiones y recomendaciones.

Las conclusiones y recomendaciones están dirigidas hacia la formulación de líneas de investigación prioritarias para el país, lo cual mejoraría el conocimiento de la mitigación a nivel nacional, y proporcionaría mayor información a los tomadores de decisiones en relación con los sectores que requieren especial atención en el desarrollo de medidas de mitigación.

### 3.1 ANTECEDENTES Y MARCO GENERAL

Como desarrollo de la adhesión de Colombia a la CMNUCC, Colombia mediante la Ley 629 de 2000, aprobó el Protocolo de Kioto, el cual fue promulgado posteriormente a través del Decreto 1546 del 16 de febrero de 2005.

En dicho marco normativo y en respuesta a los compromisos adquiridos por el país, el Consejo Nacional Ambiental Colombiano, en junio de 2002, estableció los Lineamientos de Política de Cambio Climático y bajo el documento

1 Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (sigla en español).

2 United Nations Framework Convention on Climate Change (sigla de la Convención en inglés).

Conpes<sup>3</sup> 3242 de agosto de 2003, determinó la Estrategia Institucional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación de Cambio Climático. Estos instrumentos serán objeto de análisis en posteriores numerales.

Para lograr dicho objetivo, la Convención reconoce el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, de tal manera que prevé un mayor esfuerzo en materia de reducción de emisiones por parte de los países desarrollados (Anexo I) y reconoce que las emisiones de los países en desarrollo (No Anexo I) aumentarán para satisfacer sus propias necesidades de desarrollo económico y social. Véase el Cuadro 3.1 referente a la definición de mitigación.

Con tal propósito, el Protocolo de Kioto estableció tres mecanismos de flexibilidad<sup>4</sup> para dar cumplimiento a las metas de reducción de emisiones de los países Anexo I, siendo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) el único que permite la participación de países en desarrollo.

Cuadro 3.1 Aspectos conceptuales de la mitigación

El IPCC define la mitigación como la intervención humana para reducir el forzamiento antropógeno del sistema climático; abarca diferentes estrategias encaminadas a reducir las fuentes y emisiones de gases efecto invernadero y a potenciar sus sumideros.

El forzamiento radiativo es la variación de la irradiancia vertical neta expresada en W o m<sup>-2</sup> de la irradiancia neta (descendente menos ascendente) en la tropopausa, debida a una variación del causante externo del cambio climático; por ejemplo, una variación de la concentración de dióxido de carbono o de la radiación solar. El forzamiento radiativo se calcula manteniendo fijas en un valor no perturbado todas las propiedades de la troposfera y dejando las temperaturas estratosféricas, una vez perturbadas, se ajusten hasta alcanzar el equilibrio dinámico-radiativo.

En otras palabras, el forzamiento radiativo constituye una medida de cómo el equilibrio del sistema atmosférico de la tierra se comporta cuando se alteran los factores que afectan el clima. La palabra radiativo proviene del hecho de que estos factores cambian el equilibrio entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente dentro de la atmósfera terrestre. El equilibrio radiativo controla la temperatura de la superficie terrestre.

El término forzamiento se utiliza para indicar que el equilibrio radiativo de la tierra está siendo separado de su estado normal. Cuando el forzamiento radiativo de un factor o grupo de factores se evalúa como positivo, la energía del sistema atmósfera-tierra se incrementa posteriormente conduciendo al calentamiento del sistema; por el contrario, un forzamiento radiativo negativo hará que la energía disminuya ulteriormente, conduciendo a un enfriamiento del sistema.

Por su parte, un sumidero es todo proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o alguno de sus precursores.

Fuente: IPCC, 2007.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) constituye el mecanismo más relevante para el desarrollo de proyectos de mitigación en Colombia. Éste consiste en la implementación de proyectos de reducción de emisiones antropogénicas de GEI en países No Anexo I, con el objeto de generar Certificados de Reducción de Emisiones (CER) que permitan el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones establecidas para los países Anexo I y su vez contribuyan al desarrollo sostenible del país sede de un proyecto MDL (UNFCCC, 1998).

En coherencia con los anteriores instrumentos de política, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) expidió las resoluciones 551 y 552 de 2009<sup>5</sup>, que establecieron los requisitos y procedimientos para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al MDL, crearon el Comité Técnico Interinstitucional de Cambio Climático y definieron los parámetros que establecen la contribución al desarrollo sostenible en el marco de los proyectos MDL.

### 3.2 POLÍTICAS Y PLANES DE CARÁCTER NACIONAL ASOCIADOS CON LA MITIGACIÓN

Dando cumplimiento al anterior marco político y normativo, y en especial a los compromisos adquiridos por el país para el desarrollo e implementación del objeto de la CMNUCC<sup>6</sup>, el gobierno nacional diseñó una serie de instrumentos

3 El Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, es la máxima autoridad nacional de planeación y se desempeña como organismo asesor del Gobierno en todos los aspectos relacionados con el desarrollo económico y social del país. Para lograrlo, coordina y orienta a los organismos encargados de la dirección económica y social en el Gobierno, a través del estudio y aprobación de documentos sobre el desarrollo de políticas generales que son presentados en sesión.

4 Los mecanismos de mitigación comprenden: a) Comercio de emisiones (comercio de permisos de emisiones entre países desarrollados); b) Implementación conjunta (transferencia de permisos de emisiones entre países, Anexo 1, relacionados con proyectos de reducción de emisiones específicos); y c) el Mecanismo de desarrollo limpio

5 Tales Resoluciones (551 y 552 de 2009), derogan las Resoluciones 453 y 454 de 2004.

6 El objetivo último de la Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes (COP), es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

de política que orientan y promueven el accionar nacional en materia de cambio climático y mitigación. Estos, se desarrollan bajo el quehacer del Departamento Nacional de Planeación (DNP): Lineamientos de Política de Cambio Climático, documentos Conpes, Planes Nacionales de Desarrollo y una visión que pretende consolidar las políticas de Estado relacionadas con el tema.

### 3.2.1. Lineamientos de política de cambio climático

A partir del análisis realizado por el DNP, el entonces Ministerio del Medio Ambiente (MMA<sup>7</sup>) y el Consejo Nacional Ambiental, desarrollaron los Lineamientos de Política de Cambio Climático (DNP y MMA, 2002), cuyo objeto fue identificar las estrategias requeridas para consolidar la capacidad nacional necesaria para responder a los compromisos bajo la Convención<sup>8</sup> en especial en materia de:

- Fortalecimiento de la capacidad nacional para afrontar los posibles impactos del cambio climático.
- Fomentar las oportunidades derivadas de los mecanismos financieros de la Convención.

El DNP y el MMA (2002) presentaron un diagnóstico en el cual se estableció que la capacidad institucional para abarcar los compromisos derivados de la Convención y del Protocolo de Kioto, los asumía el MMA y el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y que no existía una instancia institucional específica que concentrara y articulara las acciones en mitigación con los temas de cambio climático a nivel nacional. Con base en este diagnóstico del año 2002 se creó la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático, que hoy corresponde al Grupo de Mitigación de Cambio Climático del MAVDT.

De otro lado, el documento concluyó y propuso como estrategia, a partir de los resultados de emisiones de GEI presentados en la Primera Comunicación Nacional (Ideam et. al., 2001), la necesidad de generar en el menor tiempo, políticas y programas de reducción de emisiones de GEI, especialmente en materia de quema de combustibles fósiles, emisiones por fermentación entérica y suelos agrícolas.

Tal directriz, al ser analizada desde el ámbito de la planificación, propende por la generación de instrumentos de política que hagan frente a las principales categorías de fuentes de emisión de GEI reportadas en los inventarios nacionales de GEI, como los efectuados para los años 1990 y 1994 (Ideam et. al., 2001) y los años 2000 y 2004 (Ideam et. al., 2009)<sup>9</sup>.

Bajo dicho contexto, a partir de los estudios realizados por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA y Banco Mundial, 2000), en materia de viabilidad técnica y económica para implementar proyectos MDL en Colombia, así como en las investigaciones realizadas por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, en términos de opciones de reducción de emisiones para Colombia (ACCEFYN, 2000), se concluyó sobre la necesidad de establecer instrumentos de política asociados con la mitigación y de fortalecer la capacidad nacional, en términos institucionales, para responder a las disposiciones y al objeto de la Convención, y avanzar en la implementación de medidas de mitigación.

Igualmente, el estudio del MMA y el Banco Mundial (2000), antes mencionado, recomendó como estrategia la promoción de la reducción de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de GEI. Con este fin, propuso entre otras como líneas de acción:

- Mejorar el conocimiento sobre las opciones de mitigación por fuentes y por sumideros de GEI en los distintos sectores productivos del país. Que las medidas de mitigación respondan al principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y estén acordes con las prioridades y metas de desarrollo del país, manteniendo así la coherencia con la decisión 17/COP 8<sup>10</sup>.
- Desarrollar líneas base de emisiones de GEI a nivel sectorial, especialmente para energía, transporte y balances netos de emisiones para el sector agroforestal (el cual integra, el sector agrícola y forestal).
- Desarrollar oportunidades de reducción de emisiones y absorción de GEI, mediante: a) evaluación del marco regulatorio e incentivos para promover la generación de energía a partir de fuentes no convencionales, b) transferencia de tecnología, c) desarrollar y consolidar la capacidad nacional para el desarrollo del MDL y, d) fomentar y apoyar el desarrollo de medidas y proyectos que no se enmarcan dentro del MDL.

7 Hoy corresponde al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

8 Según el artículo 4.1 del texto de la Convención, los países que hacen parte deberán: «...Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y regionales, con medidas orientadas a mitigar el cambio climático, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático...»

9 Módulo agropecuario, Lulucf (Uscuss) y energético del inventario de gases de efecto invernadero (INGEI) para los años 2000 y 2004.

10 Conferencia de las Partes.



El documento define las líneas de acción y propone los mecanismos para financiarlas a través del presupuesto nacional y de cooperación internacional.

### 3.2.2. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2002-2006. Hacia un estado comunitario

En el marco de la estrategia de sostenibilidad ambiental, el gobierno estableció tres programas: *a)* conservación y uso sostenible de bienes y servicios ambientales; *b)* generación de ingresos y empleo verde y *c)* sostenibilidad ambiental de la producción nacional. Estos programas conciben las actividades de mitigación de cambio climático como instrumento de crecimiento económico y como respuesta a los compromisos adquiridos en el marco de la Convención y del Protocolo de Kioto.

Adicionalmente, una actividad fundamental para la implementación de dicha estrategia es la participación y seguimiento de las negociaciones internacionales, no sólo de la Convención, sino del Foro de Naciones Unidas sobre Bosques, la Organización Internacional de Maderas Tropicales y la Convención sobre Diversidad Biológica. Por lo tanto, se previó que el desarrollo y evolución de estos programas armonizaran con las decisiones tomadas en estas instancias y que defendieran los intereses del país.

En este contexto, el Plan Nacional de Desarrollo estableció diferentes acciones a implementar: *a)* desarrollo de un proyecto nacional de captura de GEI, cuya meta cuantificable fue reducir 250.000 toneladas de CO<sub>2</sub> y *b)* apoyo a iniciativas sectoriales enmarcadas bajo el MDL y otros mecanismos, con el objeto de promover la participación en el mercado de carbono. Con una dimensión sectorial, esta última meta estableció la reducción de 1.000.000 toneladas de emisiones (CO<sub>2</sub> eq) para el sector energía; dos proyectos de transporte masivo menos contaminante, con reducciones de 800.000 toneladas de CO<sub>2</sub> eq y un proyecto de aprovechamiento de metano por rellenos sanitarios, con 10.000 toneladas de reducciones (CO<sub>2</sub> eq).

En total, se definió que el país podría generar alrededor de 2.000.000 de certificados de reducción de emisiones, valoradas bajo el potencial mercado de carbono en USD \$8.000.000 de ingresos para el país (DNP, 2002).

Con respecto a lo mencionado, en relación con el desarrollo de un proyecto nacional de captura de GEI, actualmente está aprobado el primer proyecto forestal en Colombia que consiste en la reforestación de 15.000 ha en el que se estima una reducción de cinco millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq por un periodo de 20 años (MAVDT, 2009).

Adicionalmente, en relación con el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones, durante el periodo 2002-2006 fueron aprobados cuatro proyectos de energía con una reducción estimada de 233.000 toneladas de CO<sub>2</sub> eq; en transporte fue aprobado un proyecto con un potencial de mitigación de 246.563 toneladas al año de CO<sub>2</sub> eq. Los anteriores proyectos podrían generar alrededor de 872.655 certificados de emisiones e ingresos aproximados de USD\$3 millones. Si se adiciona el proyecto forestal se podrían generar alrededor de 1.123.000 certificados de emisiones e ingresos aproximados de USD\$4.5 millones (MAVDT, 2009).

### 3.2.3. Estrategia para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático

De acuerdo con lo establecido en los Lineamientos de Política de Cambio Climático (DNP y MMA, 2002) y en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2002-2006 (DNP, 2002) que definieron metas en términos de reducción de emisiones GEI bajo el programa de sostenibilidad ambiental, el Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes), estableció la estrategia institucional para la venta de servicios ambientales derivados de la mitigación de cambio climático, con el objeto de impulsar una mayor participación del país en materia de MDL. Adicionalmente, propuso la generación del marco institucional necesario para que se desarrollen eficientemente las actividades de reducción de emisiones.

Con este fin, el Conpes 3242 estableció como estrategias de mitigación: *a)* definición de la política de venta de servicios de mitigación de cambio climático; *b)* consolidación de una oferta de reducción de emisiones verificadas; *c)* mercadeo internacional de la oferta de reducciones verificadas y *d)* la coordinación, seguimiento y evaluación de la estrategia. Asimismo, recomendó la creación del Comité Intersectorial de Mitigación de Cambio Climático con el fin de orientar la política nacional en dicha temática.

Además, el Conpes propuso la identificación, articulación y creación de programas a nivel interministerial para establecer medidas sectoriales de mitigación; la identificación de regulaciones sectoriales que representen barreras asociadas con el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones; la promoción del servicio ambiental de mitigación de cambio climático, así como la negociación de memorandos de entendimiento sobre comercio de reducción de emisiones con las partes del Anexo I del Protocolo de Kioto (DNP, 2003a).



Como instrumento de política el Conpes 3242, propuso los arreglos necesarios para que la mitigación al cambio climático se considere como una oportunidad económica a nivel sectorial, de acuerdo con los objetivos plasmados en el PND 2002-2006.

### 3.2.4. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2006-2010. Estado comunitario: Desarrollo para todos

En Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 en su capítulo quinto denominado “Gestión Ambiental y del Riesgo que promueva el desarrollo sostenible”, estableció la necesidad de fortalecer la adecuada articulación de las dimensiones económica, social y ambiental con el propósito de avanzar hacia un desarrollo sostenible. Esta visión del desarrollo busca garantizar las condiciones adecuadas y seguras de calidad de vida, además de propiciar el crecimiento económico. Para el cumplimiento de los objetivos planteados se establecieron diferentes estrategias que orientaron la gestión ambiental y la promoción del desarrollo sostenible, como la estrategia de conocimiento, conservación y uso sostenible de la biodiversidad, que vincula actividades de mitigación al cambio climático como herramienta de desarrollo.

Adicionalmente, para fortalecer la oferta de bienes y servicios ambientales y por considerarse prioritaria la promoción de opciones de reducción de emisiones de GEI en el marco del MDL, se determinó la necesidad de apoyar al actual portafolio de proyectos MDL existentes (DNP, 2008). En relación con esto último, actualmente existen cinco proyectos que han emitido CER de 2007 a 2009 totalizando ingresos por USD\$55.800.000 (MAVDT, 2009).

De otra parte, al reconocer las barreras asociadas con el desarrollo de proyectos bajo el MDL, esta estrategia contempla el diseño de herramientas que permiten superar barreras técnicas, comerciales, institucionales y financieras que limiten el desarrollo y formulación de estos proyectos, en respuesta a la complejidad de las metodologías de línea base y monitoreo, y al acceso de mecanismos de financiación.

Igualmente, bajo el componente de conservación de la biodiversidad, el PND 2006-2010 propuso el desarrollo de un Conpes que defina y reglamente el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), los instrumentos de sostenibilidad financiera, y plantea la ampliación a 200.000 nuevas hectáreas protegidas. Además, se establece la necesidad de desarrollar planes de ordenación y manejo de 2.000.000 ha de bosque natural (DNP, 2007).

En este contexto, desde el 2006 se han creado las siguientes nuevas áreas del Sistema: Parque Nacional Natural (PNN) Serranía de los Churumbelos Auka-Wasi, PNN Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel, PNN Yaigoje-Apaporis y Santuario de Flora Plantas Medicinales Orito Ingi-Ande. De acuerdo con lo anterior, la meta planteada en el PND supera las 200.000 nuevas hectáreas propuestas en la estrategia. La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales contará con planes de ordenación y manejo para estas nuevas áreas.

Así las cosas, ha sido un reto para la política nacional de conservación y manejo de la biodiversidad, establecer una adecuada articulación de estas metas con la mitigación. Tal es el caso de la deforestación evitada, pues ésta puede ser una herramienta de financiamiento a largo plazo de las anteriores metas.

### 3.2.5. Visión Colombia II Centenario 2019

Este proyecto planteado, es un ejercicio prospectivo de planeación como marco de desarrollo a mediano plazo, partiendo de la idea de país que todos los colombianos desean tener para el momento de la conmemoración del segundo centenario de vida política independiente, a celebrarse el 7 de agosto de 2019 (DNP, 2009).

En materia ambiental, este proyecto previó revertir los procesos de deterioro asociados con el crecimiento económico, generando además condiciones de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales como resultado del mejoramiento ambiental para que redunde en la calidad de la vida de la población (DNP, 2007a).

Teniendo en cuenta criterios de consenso entre los diferentes actores nacionales, esta visión plantea la consolidación de una gestión ambiental para promover el desarrollo sostenible, de tal manera que asegure una política de Estado con líneas de continuidad para así superar barreras de viabilidad y continuidad asociadas a los periodos de los gobiernos.

En el tema de mitigación, reconoce el énfasis que el país ha tenido en materia de MDL desde que se asumió el Protocolo de Kioto y examina la debilidad para el desarrollo de esta clase de proyectos; por tanto, propone:

- Fortalecer la capacidad de negociación de los interesados en proyectos MDL, para evitar la intermediación en los procesos de venta de certificados de reducción de emisiones (CER);
- Gestionar los proyectos que actualmente se encuentren en el portafolio del MAVDT y que estén en proceso de formulación;

- Fortalecer la capacidad sectorial, pública o privada para identificar, formular, negociar y desarrollar proyectos elegibles, así como el apoyo a programas de investigación para el desarrollo de metodologías aplicables al MDL. Esta propuesta es prioritaria, porque le otorga un carácter más dinámico al desarrollo de proyectos MDL y supera las barreras técnicas en las etapas iniciales de formulación.

### 3.2.6. Acuerdos de cooperación multilateral

Como un gran paso hacia la implementación de los objetivos globales de reducción de emisiones de GEI, y con base en las estrategias de mutuo acuerdo y colaboración entre las partes de la convención, Colombia ha ratificado alianzas estratégicas con diferentes países como respuesta a la necesidad global de reducir la concentración de GEI en la atmósfera. Estos acuerdos han priorizado el MDL como instrumento para la mitigación eficaz del cambio climático y el desarrollo sostenible de Colombia.

Adicionalmente, se destacan los beneficios que se derivan de las agendas de trabajo que se relacionan con la construcción de capacidades tanto humanas como institucionales, y el fortalecimiento de la cooperación internacional.

Se destacan dentro de los principales acuerdos de entendimiento los siguientes:

- **Fondo Prototipo del Carbono del Banco Mundial.** Colombia hace parte del comité de países anfitriones del Fondo lo que le permite presentar proyectos del MDL para ser financiados por los fondos de carbono del banco.
- **Programa Latinoamericano del Carbono y Energías Limpias Alternativas de la Corporación Andina de Fomento (CAF).** Este programa contribuye a reducir el problema del calentamiento global y promueve el uso de energías alternativas limpias, mediante el desarrollo y financiamiento de proyectos innovadores.
- **Memorando de Entendimiento entre el Gobierno de los Países Bajos y la República de Colombia (2002-2012).** Tiene como objetivo facilitar el desarrollo e implementación de actividades en proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia y la transferencia a Holanda de la parte acordada de los certificados de reducción de emisiones resultado de estas actividades, en concordancia con el Artículo 12 del Protocolo de Kioto.
- **Memorando de Entendimiento entre el Gobierno de Francia y la República de Colombia (2003-2012).** El objetivo del acuerdo es facilitar el desarrollo e implementación, con la participación de operadores franceses, de proyectos de reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia y la transferencia a los operadores franceses de la fracción acordada de reducciones certificadas de las emisiones resultado de esas actividades, en concordancia con el Artículo 12 del Protocolo de Kioto.

## 3.3 ESTRATEGIAS Y PLANES SECTORIALES

A partir de la ratificación del Protocolo de Kioto, el país ha avanzado en las estrategias para materializar el objeto de la Convención y para propiciar una mayor participación de los diferentes sectores en actividades de reducción de emisiones de GEI. A continuación se presentan las diferentes políticas, programas y medidas sectoriales que contribuyen a la reducción de emisiones de GEI en Colombia, las cuales suponen nuevos retos y un avance en la integración de las políticas de gobierno con los sectores económicos.

### 3.3.1 Sector energético

El Plan Energético Nacional (PEN) 2006-2025, analiza las necesidades energéticas del país y las alternativas para su abastecimiento, considerando energéticos disponibles en el territorio y las posibilidades de integración energética regional e internacional. Además, incluye el concepto de sostenibilidad asociado con la producción y uso eficiente de la energía y el uso de Fuentes No Convencionales de Energía -FNCE-, el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, y la prevención y control de la contaminación en cada uno de los eslabones de la cadena energética<sup>11</sup>.

De acuerdo con la consulta efectuada a varios expertos, en términos generales, la baja participación de las FNCE en la matriz energética colombiana se puede asociar con parcializadas o inadecuadas percepciones como: *i)* que éstas no son competitivas en el mercado interconectado de la electricidad, debido a que las inversiones iniciales para estos sistemas son muy altas y *ii)* a que la intermitencia del recurso viento o sol las harían no confiables, entre otras razones. Sin embargo, se requiere de una evaluación integral en el mediano y largo plazo que evidencie los aportes

<sup>11</sup> El Plan de Expansión de Referencia, de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica 2009 – 2023, señala que la capacidad efectiva neta instalada en Colombia, a diciembre de 2009, fue de 13,440 MW, y correspondió a plantas hidráulicas, el 66.92% incluidas las menores; las térmicas a gas el 27.54% y a carbón el 5.21%, y las demás tecnologías (cogeneración y eólica) el 0.33%. (UPME, 2008a).

de estas fuentes a la seguridad energética y la complementariedad de estos recursos con los existentes, porque se hace necesario identificar y cuantificar proyectos potenciales de FNCE bajo el MDL, con el objeto de fortalecer su financiamiento en materia de generación y sustitución de combustibles.

En la Tabla 3.1 se presenta un resumen de los planes y programas del sector, así como sus objetivos y las medidas que potencialmente contribuyen con la reducción de emisiones GEI.

En cuanto a las iniciativas mencionadas, se destacan, además de la constitución de un marco legal, las caracterizaciones de los sectores residencial, terciario y de algunos subsectores industriales, a partir de las cuales se han propuesto importantes medidas para mejorar la eficiencia, ya sea recurriendo a la reconversión tecnológica, a las mejores prácticas o a la gestión energética (Ver Anexo 3.2).

De manera consecuente, se ha elaborado material didáctico sobre los diferentes programas del Uso Racional de Energía (URE) los cuales han sido ampliamente divulgados a través de las páginas web de las entidades del sector energético y en eventos en las principales ciudades del país. Lo anterior ha generado una dinámica en la implementación de medidas de eficiencia energética que impactan su productividad y competitividad de manera significativa por parte de industriales y agentes del sector terciario.

En la práctica, la mayor dificultad para la ejecución de los programas, proyectos y planes de eficiencia energética se centra en la consecución de los recursos para su financiamiento y en la consolidación de una masa crítica de expertos que permita imprimir más dinamismo al tema de modo que se genere un mercado de bienes y servicios energéticos.

En cuanto al desarrollo de planes, programas y proyectos relacionados con el uso de fuentes no convencionales de energía, las principales barreras las constituyen la dispersión de información, los altos costos de la tecnología y la no consolidación de las estrategias de sostenibilidad de las implementaciones.

En materia de URE, el Ministerio de Minas y Energía (MME) está estructurando un plan de acción del PROURE, concertado con los diferentes actores de la cadena, que determinará acciones específicas con metas e indicadores de ahorro de energía y reducción de emisiones de GEI, así como responsables y recursos financieros para su desarrollo<sup>12</sup>.

Dentro de los principales proyectos y actividades URE desarrollados por parte de la UPME (ver Anexo 3.1), se encuentran los programas de fortalecimiento de la capacidad para implementación de normas de etiquetado y el de eficiencia energética en edificaciones, los cuales se presentaron ante el GEF para su cofinanciación. El primero, está en su fase final de formulación y en proceso de aprobación para su ejecución por parte del GEF, y el segundo, ya fue aprobado para su ejecución en cabeza de la UPME, quien inició el programa en noviembre de 2009.

El proyecto de etiquetado pretende concretar los potenciales de eficiencia energética asociados con la optimización del desempeño energético de los equipos de uso final de energía y generar cultura en eficiencia energética, logrando resultados en términos de ahorro de energía (UPME, 2002).

El proyecto de eficiencia energética en edificaciones promueve las sinergias entre los protocolos de Kioto y Montreal, por medio de la disminución de emisiones de GEI y de las sustancias que destruyen la capa de ozono respectivamente, mediante el fomento de un ambiente favorable para optimizar el uso de la energía en las instalaciones y equipos de calentamiento, ventilación, aire acondicionado e iluminación (CVACI). Estas acciones redundarán en la eliminación del uso de CFCs y en la obtención de beneficios energéticos y ambientales<sup>13</sup>.

Por su parte, el Programa Estratégico Nacional de Gestión Integral de la Energía (GIE)<sup>14</sup> que busca mejorar la eficiencia energética en el sector empresarial, está compuesto por tres proyectos: 1) formación de personal altamente capacitado en temas de eficiencia energética e instalación de programas académicos en gestión integral de la energía en el nivel universitario; 2) instalación del modelo de gestión integral de la energía en un importante número de empresas en todas las regiones del país y 3) publicación de un sistema que consolide la información de referencia de las experiencias vividas y las lecciones aprendidas durante la ejecución del programa.

12 Existe una instancia de alto nivel que es la Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales de Energía -CIURE-, conformada por los Ministerios de Minas y Energía, de Comercio, Industria y Turismo, de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Comisión de Regulación de Energía Eléctrica y Gas, COLCIENCIAS, DNP e IPSE y la UPME como Secretaría Técnica, la que asesora y apoya al Ministerio de Minas y Energía en la priorización y desarrollo de los programas y proyectos de URE y FNCE, e imparte lineamientos para su financiación, diseño, implementación y seguimiento (Decreto 3683, de 19 de diciembre de 2003, MME).

13 Cuando se eliminan los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), los compuestos hidroc fluorocarbonados (HCFC) y los halón, se tienen beneficios muy importantes tanto para la protección de la capa de ozono, como para la protección del calentamiento global (Ideam *et. al.*, 2009).

14 Programa cofinanciado por COLCIENCIAS, EPM y la UPME como beneficiarias, y en proceso de ejecución por la Universidad Nacional de Colombia, pretende contribuir a mejorar la eficiencia energética en el sector empresarial con el fin de lograr mayor productividad y competitividad mediante la apropiación social del conocimiento y la generación de sinergias estratégicas a nivel regional que faciliten la implementación de proyectos URE a bajo costo.



Tabla 3.1 Planes, programas y medidas de mitigación del sector energético

Nombre	Objetivos	Medidas relacionadas con la mitigación
Plan Energético Nacional 2006 2025. (MME & UPME, 2006)	Maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del país.	1) Fomento de programas de eficiencia energética que aporten al mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y a la reducción de emisiones de GEI. 2) Diversificación de la canasta energética con el uso de fuentes no convencionales de energía.
URE (Uso Racional de Energía) y FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía) (MME, 2001)	Asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, así como la competitividad de la economía colombiana y la protección al consumidor. Promover el uso de energías alternativas de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.	1) Aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución y consumo buscando el desarrollo sostenible; 2) Promover y asesorar proyectos URE; 3) Promover el uso de energías no convencionales; 4) Desarrollar estímulos que permitan el uso racional y eficiente de la energía y las fuentes energéticas no convencionales.
Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y otras formas de Energía no Convencionales -PROURE- (MME, 2001 y 2003)	Aplicar programas de eficiencia energética y de uso de energías no convencionales en toda la cadena productiva, sin desconocer la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.	1) Promover la utilización de fuentes energéticas convencionales y no convencionales con criterios de uso racional y eficiente, incluso el Programa de Uso Racional y a través de sistemas de cogeneración; 2) Generar una cultura nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Uso de FNCE; 3) Modernización e incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos; 4) Promover el uso de energéticos eficientes, económicos y de bajo impacto ambiental; 5) Generar beneficios reales y una adecuada protección a los consumidores y usuarios.
Subprogramas PROURE (MME, 2003)		1) Investigación, promoción del URE y análisis prospectivo de nuevas tecnologías de transformación energética; 2) Fomento y desarrollo de proyectos con fuentes energéticas no convencionales y de eficiencia energética, incluidos los proyectos de energías limpias o renovables con prioridad en las zonas no interconectadas; 3) Aprovechamiento de metano y secuestro de carbono; 4) Estímulos e incentivos a tecnologías, productos y proyectos URE; 5) Fomento del URE en los sectores oficial, comercial, transporte, residencial (incluido vivienda de interés social) e industrial. 6) Actualización y/o reconversión tecnológica de equipos industriales en función del URE; 7) Proyectos o actividades de producción más limpia y de ahorro y de eficiencia energética, que requieran equipos y maquinaria destinados a la reducción en el consumo de energía y/o eficiencia energética.
Subprogramas de Zonas No Interconectadas. (IPSE, 2005)	Planificar y promover soluciones energéticas integrales y autosostenibles en el largo plazo en los territorios que conforman las Zonas No Interconectadas (ZNI).	Búsqueda de soluciones energéticas en el ámbito de las energías no convencionales, cuya fuente primaria sean recursos renovables, tales como: biomasa, biodiesel, biogás, energía eólica, solar e hídrica (pequeñas y microcentrales).
Programa Metano al Mercado. Environmental Protection Agency USA y el MAVDT.	Minimizar las emisiones de metano procedentes del sector petróleo y gas, y de residuos sólidos en Colombia.	1) Avanzar en la recuperación y uso del metano como fuente de energía limpia; 2) Implementar la captura del metano y recalcar la importancia en el uso y desarrollo de proyectos tendientes a la reducción de emisiones de metano; 3) Utilización de tecnologías disponibles y demostradas para el manejo de emisiones de metano; 4) Implementación de planes de reducción de metano que puedan también disminuir las pérdidas de gas natural y aumentar los ingresos de las empresas.

Fuente: Los autores con información de las fuentes citadas, 2008.

Uno de los programas transversales de URE, que está en su fase de diseño, es el Programa Nacional de Educación para el Uso Racional de la Energía, el cual busca introducir la temática de la energía y su uso eficiente en los procesos de educación formal y no formal que se vienen desarrollando en el país. Este programa se complementa con cursos sobre URE en los diferentes sectores, campañas publicitarias que motivan a los usuarios sobre el URE y el uso de la etiqueta de eficiencia energética.

En cuanto a proyectos específicos URE, para el sector residencial se está desarrollando un programa de sustitución de bombillas de baja eficacia luminosa por fuentes de mayor eficacia en estratos 1, 2 y 3 los cuales representan el 89% de la población. Asimismo, en conjunto con otras entidades como el MME y el MAVDT, se está desarrollando un programa de sustitución de refrigeradores ineficientes también en esos estratos. Estos proyectos pueden ser presentados ante organismos internacionales para concursar por recursos de cofinanciación.

Además, a través del estudio de caracterización de consumos de energía en el sector terciario (comercial y de servicios), se determinaron deficiencias asociadas con usos de iluminación, aire acondicionado, fuerza motriz y refrigeración, las cuales constituyen la base para establecer y promover estrategias URE en este sector.

Por otro lado, se expidieron normas tendientes a mejorar la eficiencia energética en iluminación: sustitución de bombillas incandescentes por bombillas fluorescentes compactas, sustitución de bombillas de baja eficiencia por bombillas de mayor eficiencia, establecer los requisitos técnicos de bombillas de alta eficiencia y el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público.

En términos de financiación, existen líneas de crédito URE Bancoldex disponibles para empresas interesadas en desarrollar proyectos de eficiencia energética. Además, la Corporación Ambiental Empresarial de la Cámara de Comercio de Bogotá con el apoyo de la UPME, viene desarrollando un programa que fomenta la creación de ESCOS<sup>15</sup> con recursos del FOMIN del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Finalmente, de acuerdo con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas -IPSE-, para las Zonas No Interconectadas -ZNI- se trabaja en el desarrollo y promoción de tecnologías limpias para la generación de energía eléctrica. De estos proyectos se destaca la generación de energía a partir de biomasa, tecnologías solares y biogás entre otras (Ver Anexo 3.3).

Con este tipo de proyectos, las soluciones energéticas se hacen con principios de conservación ambiental, al tiempo que propenden por el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades rurales y por el desarrollo de proyectos productivos.

De acuerdo con el cuarto reporte del IPCC (2007a), las anteriores medidas se relacionan con la mitigación y se establecen como: a) cambio de combustibles; b) eficiencia energética en plantas y c) introducción de fuentes renovables de energía; estas medidas tienden a desplazar fuentes no renovables como el carbón y crudos de petróleo, altamente generadores de emisiones.

### 3.3.1.1 Potencial de mitigación del sector energético colombiano

En un ejercicio realizado por la Universidad de los Andes, mediante el Modelo MARKAL<sup>16</sup>, se analizó el sistema energético colombiano a partir de la estimación de un escenario probable de emisiones de GEI asociados con la demanda futura y las opciones tecnológicas y energéticas más plausibles para satisfacer las necesidades energéticas del país. Bajo un escenario prospectivo que abarca el periodo 2000-2030, esta investigación permitió identificar estrategias y posibles medidas de mitigación en el sector energético (Cadena *et al.*, 2008).

Con dichos fines, se estimaron las emisiones de GEI procedentes de la oferta y consumos internos de energía a nivel nacional, periodo 1990 a 2005, a partir de las metodologías propuestas por el IPCC (2006) nivel 1 y de los balances energéticos publicados por la UPME<sup>17</sup>.

Las estrategias y medidas de mitigación propuestas en la investigación, comprenden: a) eficiencia energética en los sectores de consumo final; b) introducción de nuevas tecnologías en la generación de energía; c) sustitución de combustibles contaminantes; d) medidas de ahorro de energía y cambio de hábitos de consumo. Para cada una de las medidas se presenta el potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el costo asociado, en términos de USD\$/t CO<sub>2</sub>. Véanse las figuras 3.1 y 3.2.

15 ESCOS (Energy Service Companies), son empresas que prestan el servicio de instalar artefactos de ahorro y que permiten amortizar su costo mediante el pago de la tarifa mensual de consumo.

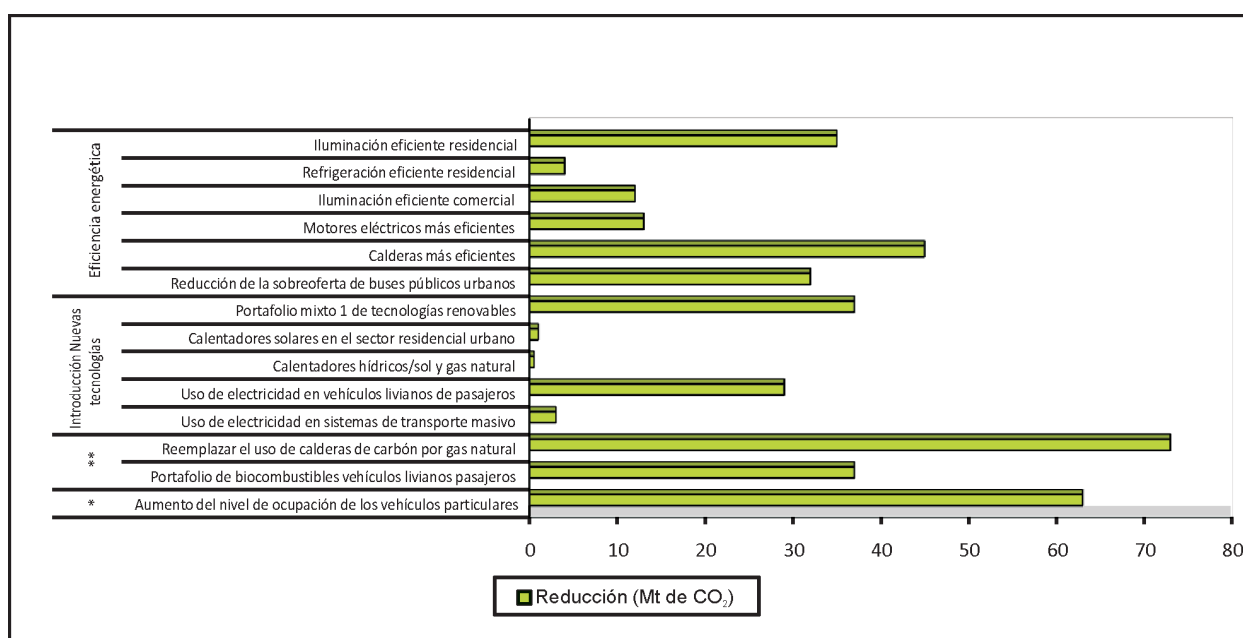
16 Modelo desarrollado por la Agencia Internacional de Energía, que permite analizar: a) comportamiento y dinámica a futuro de los sistemas energéticos; b) ventajas y beneficios al introducir nuevas tecnologías; c) evolución en el tiempo de los recursos energéticos y la introducción de nuevos recursos; d) impactos y sensibilidades del sistema energético frente a ciertas metas y políticas de mejoras en términos de eficiencia y; e) reducción de efectos ambientales.

17 El Inventario de GEI para Colombia de los años 2000 y 2004 se elaboró con base en las metodologías del IPCC del año 1996, en razón a la carencia de la información que requería la metodología del IPCC del año 2006.

Según los resultados del estudio, se estima un probable potencial de reducción de emisiones en orden descendente para las siguientes medidas propuestas y evaluadas en un horizonte de 20 años, periodo 2010-2030:

a) Cambio de combustibles, sustituir 50% del carbón usado en las calderas industriales por gas natural, potencial 67,78 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>; b) aumento del nivel de ocupación de vehículos particulares, reducción del número de vehículos circulando, empezando con 5% en el año 2010 hasta llegar a 50% en 2030, potencial 62,48 millones de t CO<sub>2</sub> y c) introducción de fuentes y tecnologías renovables de generación eléctrica, la medida consiste en el desplazamiento 712 MW en 2030 y 1410 MW en 2040, las tecnologías de generación contempladas son: 35% eólico, 25% geotérmica, 30% pequeñas centrales hidroeléctricas, 5% fotovoltaicas y 5% de cogeneración. El potencial de reducción por la penetración de estas tecnologías asciende a 45 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. En la Figura 3.1 se presenta la relación del potencial de reducción de emisiones por tipo de estrategias y medidas.

Figura 3.1 Potencial de reducción de emisiones para diferentes estrategias de mitigación (Mt de CO<sub>2</sub>)



\*Cambio hábitos \*\* Sustitución biocombustibles  
Fuente: Cadena *et al.*, 2008

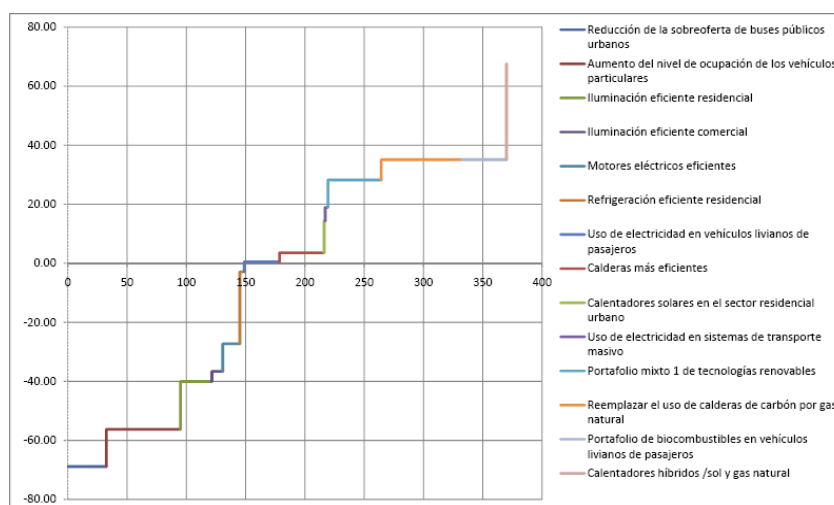
En términos del costo de tonelada de CO<sub>2</sub> reducida, en la Figura 3.2 se presenta, en orden ascendente, el valor aproximado de reducción, para cada una de las tecnologías analizadas por esta investigación; estos no incluyen el costo de levantamiento de barreras, ni aquellos asociados con el mercado de reducción de emisiones, como lo es la transacción de certificados de reducción de emisiones. De las probables medidas analizadas, se destacan los ahorros generados por la reducción de la sobreoferta de buses, la introducción de tecnologías de iluminación y refrigeración eficiente a nivel residencial e industrial y el cambio en los motores eléctricos eficientes (Figura 3.2).

La investigación destaca que el cambio de combustibles en el sector industrial, carbón por gas, posee un gran impacto en la reducción de emisiones: en un horizonte de 20 años, es la medida que posee mayor potencial, aunque su costo sea alto, USD\$ 35 t/CO<sub>2</sub>. De otro lado, la introducción de calderas más eficientes posee un potencial de reducción importante (37,6 Mt CO<sub>2</sub>) a un costo de USD\$ 3,6 t/CO<sub>2</sub> y los ahorros generados por la reducción de la sobre oferta de buses urbanos tiene un potencial de reducción estimado en 32,4 Mt de CO<sub>2</sub>.

Las anteriores medidas se destacan por su impacto en términos de calidad de aire y, en consecuencia, en salud humana, ya que contribuyen a la disminución del material particulado y las emisiones de azufre, procedentes de la combustión de combustibles fósiles (véase las figuras 3.1 y 3.2).



Figura 3.2 Potencial de reducción de emisiones para diferentes estrategias de mitigación (M t de CO<sub>2</sub>)



Fuente: Cadena et al., 2008

### 3.3.1.2 Potencial de mitigación por utilización de energía solar

Mediante el Atlas de Radiación Solar en Colombia, se obtuvo una cuantificación de la disponibilidad y del potencial de recursos renovables para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables como la radiación solar. Presenta un conjunto de mapas (promedios mensuales y promedio anual) de radiación global, que muestran la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia (kWh/m<sup>2</sup>), así como la identificación de regiones estratégicas donde es posible aprovechar la energía solar y así aportar a la solución de necesidades energéticas del país (UPME & Ideam, 2005).

El potencial promedio diario multianual a nivel nacional asciende a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>; en la región de la Guajira sin embargo se tiene un valor de 6 kWh/m<sup>2</sup> al igual que en la Orinoquia.

Los resultados obtenidos permiten avanzar en el aprovechamiento del recurso energético solar, especialmente para las zonas no interconectadas. En la Figura 3.3 se presenta la radiación solar global promedio anual del país con las respectivas isóneas.

### 3.3.1.3 Potencial de mitigación por utilización de energía eólica

Mediante el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, se presentó una colección de mapas con la distribución espacial del viento en superficie y el potencial de generación eólica del país (UPME & Ideam, 2006). Se estableció el promedio mensual y anual de la densidad de la energía eólica (W/m<sup>2</sup>) a 20 m y 50 m de altura, siendo más significativo el potencial de generación a 50 m como se muestra en la Figura 3.4. El Atlas contribuye a orientar el uso y aprovechamiento de energía eólica, definiendo épocas del año y zonas donde podrá aprovecharse esta fuente renovable como solución a las necesidades energéticas del país.

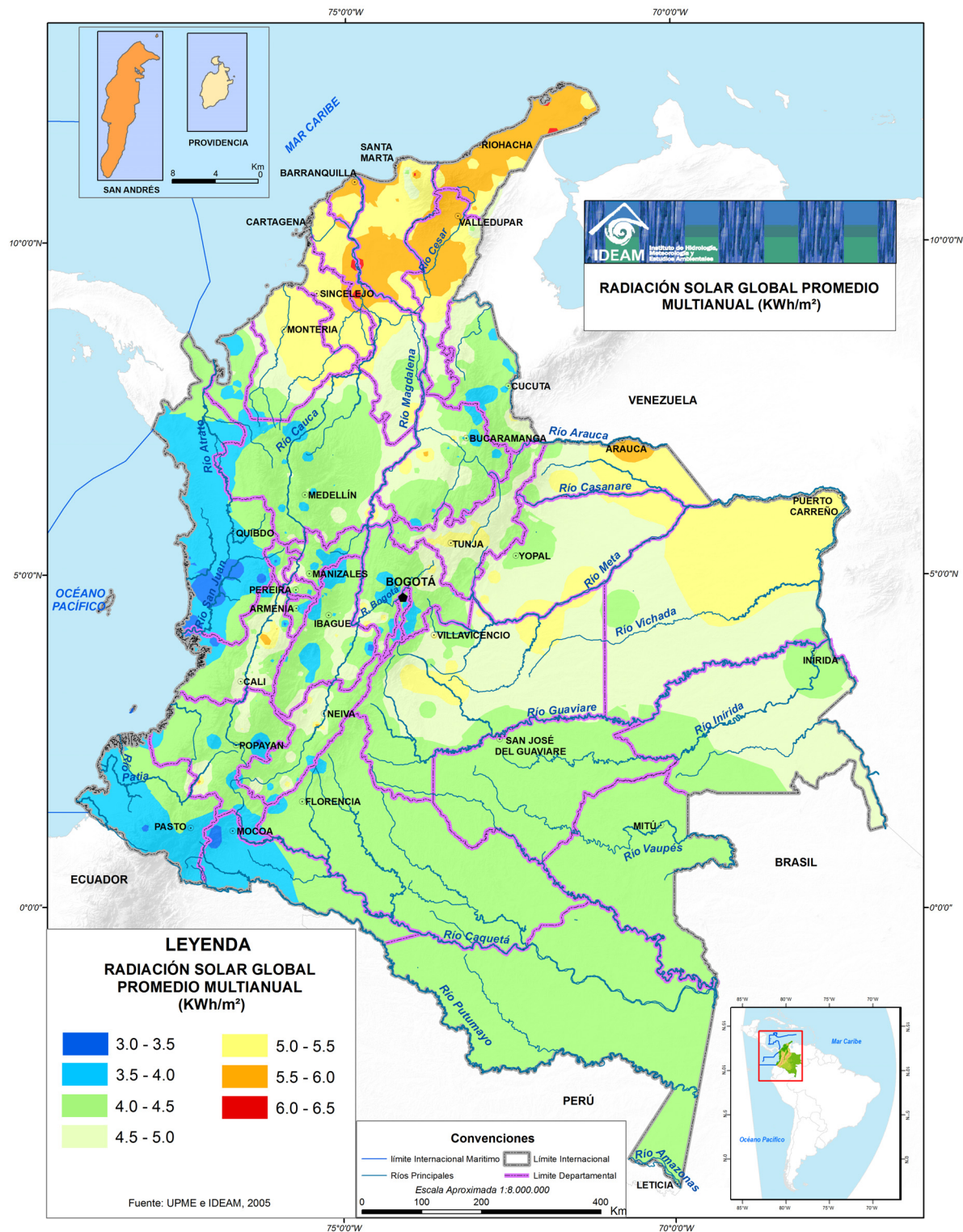
Entre las zonas de mayor potencial se destaca la península de la Guajira, la cual posee valores de densidad de energía eólica entre 2.197 y 2.744 W/m<sup>2</sup> a lo largo de todo el año; asimismo la persistencia del viento en la Isla de San Andrés y algunos sectores del departamento Boyacá y Bolívar (centro del litoral Caribe). Véase la Figura 3.4.

Se concluye en necesidad de realizar estudios particulares con el objeto de conocer rigurosamente la intensidad de los vientos para una región particular, a partir de elementos de micrometeorología, lo cual implicaría aumentar la densidad de las estaciones que miden el viento en algunas regiones del país.

### 3.3.1.4 Mitigación en el sector petrolero

Ecopetrol S.A. ha venido trabajando en la estructuración de una estrategia para reducir emisiones de GEI, mediante la suscripción en el año 2008 de un acuerdo de colaboración con el BID, el cual ha posibilitado la coordinación de esfuerzos con el objeto de impulsar y desarrollar un programa de reducción de GEI, vinculando actividades como aprovechamiento de metano, eficiencia energética y sustitución de combustibles.

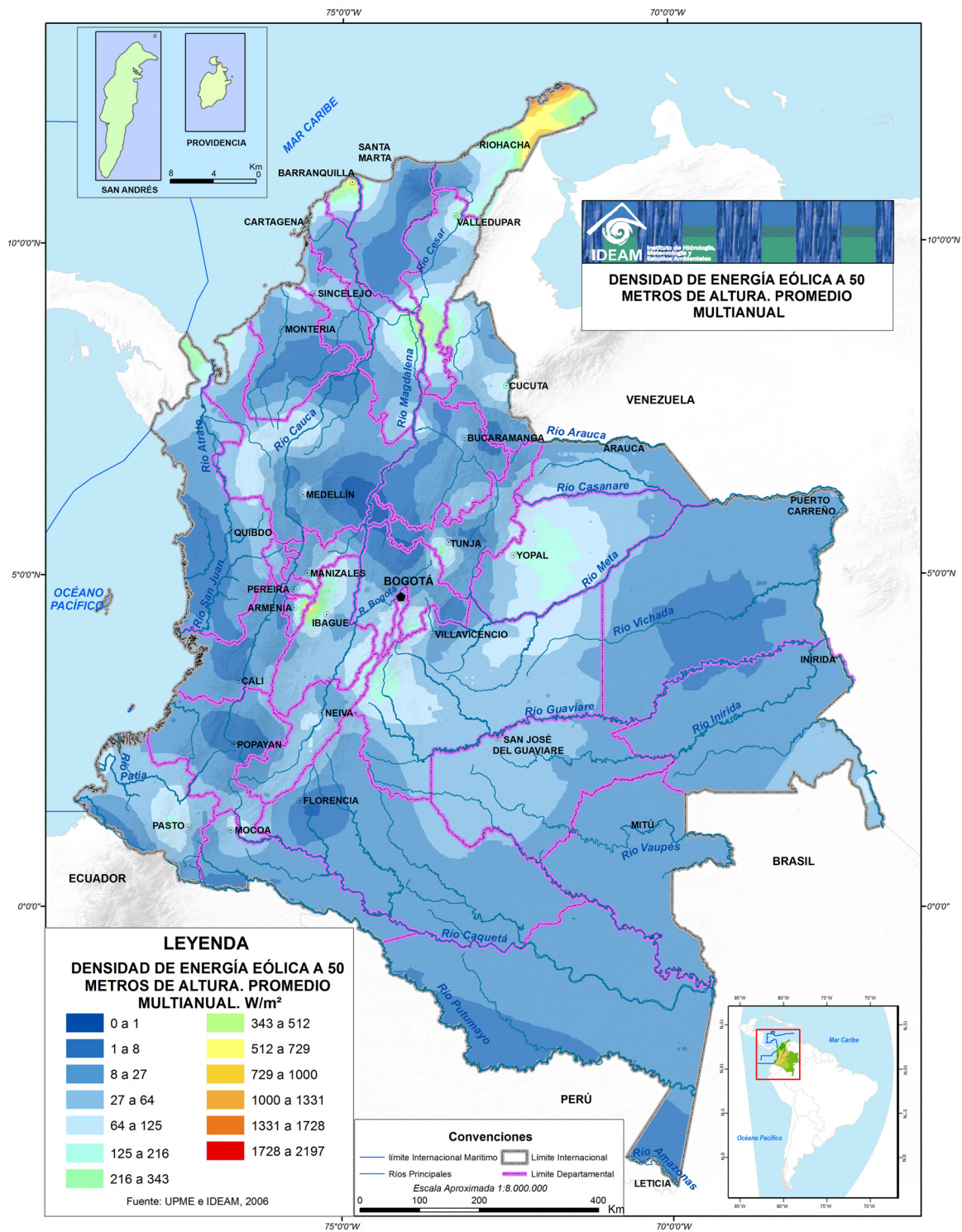
Figura 3.3 Radiación solar global, promedio multianual (kWh/m<sup>2</sup>)



Fuente: UPME & IDEAM, 2005

Como producto de esta agenda de cooperación conjunta, se han identificado 38 iniciativas de mitigación en los procesos de producción, transporte y refinación; con un potencial cercano a los 2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq/año, enfocados básicamente hacia el aprovechamiento y uso de gas, la sustitución de combustibles, la generación de energía con tecnologías y/o combustibles menos intensivos en emisiones de GEI y la eficiencia energética.

Figura 3.4 Densidad de la energía eólica a 50 m de altura, promedio multianual



Fuente: UPME & IDEAM, 2006

### 3.3.1.5 Otras energías

Existen iniciativas en otras energías alternativas como el caso del hidrogeno; al respecto la Asociación Colombiana de Hidrógeno y otras Energías Limpias (AcoHidrógeno) tiene como objetivos principales el estudio, investigación y promoción de energías limpias renovables, en especial el relacionado con hidrógeno; facilitar el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías; apoyar el desarrollo de especialidades universitarias y técnicas en el campo de las energías limpias; promover la investigación y los trabajos académicos sobre hidrógeno y energías



limpias; lograr avances productivos y eficaces en el reemplazo de los recursos energéticos no renovables; disminuir la dependencia de los combustibles fósiles; proponer la creación de incentivos para el desarrollo de energías limpias; y promover un plan nacional de hidrógeno y energías limpias y su inclusión en los planes energéticos del país.

### 3.3.2 Sector transporte

El gobierno nacional ha venido desarrollando los sistemas integrados de transporte masivo que se fundamentan en la política de mejoramiento del servicio de transporte público urbano de pasajeros<sup>18</sup> y en la política nacional de transporte urbano y masivo<sup>19</sup>.

La política de mejoramiento del servicio de transporte público urbano de pasajeros diagnostica la tendencia asociada al deterioro de los servicios de transporte público urbano<sup>20</sup> en las principales ciudades del país y propone diferentes estrategias para impulsar nuevos modelos de transporte que impacten positivamente en la calidad de vida y la competitividad de las ciudades de más de 600 mil habitantes (DNP, 2002). Bajo tal contexto, se definió un fortalecimiento a las ciudades en materia de planificación, gestión, regulación y control del tráfico y transporte, además del incentivo a la implementación de Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM), teniendo en consideración la viabilidad técnica, legal y financiera (DNP, 2002).

En complemento a dicha política y a las directrices establecidas, el DNP (2003) definió la política nacional de transporte urbano y masivo, la cual se fundamenta en los problemas estructurales que caracterizan al sector. Se propuso con el objeto de avanzar en el mejoramiento del servicio de transporte en las ciudades de más de 600.000 habitantes<sup>21</sup>: a) estructuras de financiamiento con participación del sector privado en alianza con el sector público; b) el fortalecimiento del desarrollo institucional requerido para los SITM y, c) la maximización de los impactos asociados con calidad de vida y los beneficios sociales procedentes de su implementación, a partir de la disminución en los niveles de accidentalidad, tiempos de viaje, recuperación del espacio público y niveles de seguridad (DNP, 2003).

Bajo tales condiciones, en razón a la política sectorial, a los planes nacionales de desarrollo y a las estrategias financieras diseñadas por el gobierno con apoyo de los entes territoriales, actualmente están en operación o construcción ocho SITM en las principales ciudades del país: tal es el caso de Bogotá D.C., Soacha, Barranquilla, Bucaramanga, Santiago de Cali, Cartagena, Medellín (Valle de Aburrá) y Pereira - Dos Quebradas.

Cabe resaltar que los SITM se encuentran en diferentes etapas de diseño, construcción y operación, y se espera que en el futuro tengan considerables efectos en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. En promedio, para estos ocho proyectos se estima un potencial de reducción de emisiones de GEI anual cercano a 810.726 t de CO<sub>2</sub> eq<sup>22</sup>.

Para el caso de Bogotá, según el informe de monitoreo de las fases II y IV del sistema Transmilenio (Américas, Norte-Quito-Sur [NQS], Suba y avenida Ciudad de Cali), se generaron reducciones de GEI estimadas en 128.905 t CO<sub>2</sub> eq, durante el periodo 2006 y 2007, lo cual se reflejó en las eficiencias de consumo de combustible, 6,1 km/galón en promedio para estos años<sup>23</sup>; en términos de la calidad del combustible empleado se realizaron mejoras, especialmente en el contenido de azufre, sin embargo, el informe de monitoreo concluye que dicho cambio no ha significado mayores reducciones.

Es importante subrayar que a través del mejoramiento de la movilidad en los grandes centros urbanos del país se logra mejorar el control y la prevención de la contaminación de aire<sup>24</sup>. Con dicho mejoramiento se obtienen mejores sinergias en las medidas ambientales orientadas para mejorar la calidad del aire, la reducción de ruido, la congestión y los accidentes; a la vez que se aumenta el ahorro en los tiempos de viaje y el fortalecimiento al desarrollo urbano planificado de las ciudades.

#### 3.3.2.1 Potencial de mitigación de los SITM

Entre los objetivos de la agenda de trabajo conjunta del Ministerio de Transporte (MT) y MAVDT, se incluyen las actividades y los beneficios económicos asociados con la mitigación de cambio climático en el ámbito misional del

18 Conpes 3167 (2002).

19 Conpes 3167 y 3368 de 2003 y 2005, respectivamente.

20 Entre los elementos asociados con el mal estado del servicio de transporte público se destacan: sobreoferta en el número de vehículos, 40% del parque automotor no se requiere, adicional a la condición obsoleta de éste. Asimismo se identifican: deficientes condiciones de malla vial en la mayoría de los casos, estructura empresarial inadecuada que no permite el mejoramiento en la calidad del servicio, niveles de accidentalidad, deterioro urbano y contaminación (DNP, 2002).

21 Bogotá y Soacha, Santiago de Cali, Pereira y su área metropolitana, Barranquilla y su área metropolitana, Cartagena, Bucaramanga y su área metropolitana, y Medellín y su área metropolitana

22 MAVDT, Portafolio colombiano de proyectos MDL, octubre de 2009.

23 Informe de monitoreo Proyecto 0672: BRT Bogotá, Colombia: Transmilenio Phase II to IV; de: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1159192623.07/view>

24 Reducir las emisiones de monóxido de carbono (CO) hasta en 50%, de óxidos de nitrógeno (NOX) entre 30 y 45% y de compuestos orgánicos volátiles (metano e hidrocarburos) hasta en 35% (DNP, 2003).

MT, la promoción de opciones de reducción de emisiones de GEI en el marco del MDL y el fortalecimiento del actual portafolio de proyectos de reducciones de emisiones (MAVDT & Ministerio de Transporte, 2003 y 2007). En este marco de trabajo se elaboró un diagnóstico sectorial de emisiones de GEI para el año 2001, siguiendo la metodología propuesta por el IPCC (1997), que incluyó la identificación de categorías fuente y la propuesta de medidas de mitigación para el transporte público urbano en grandes ciudades y, en general, en el transporte terrestre, que contribuyeran a la reducción de emisiones.

En relación con los proyectos adelantados por el MT en materia de transporte público, se identificó el potencial de mitigación, al sopesar la línea base de las actividades corrientes frente a nuevas alternativas asociadas con los diferentes SITM. Asimismo, bajo la coordinación del Grupo Mitigación de Cambio Climático (GMCC), se definieron las acciones para establecer una estrategia que permitiera priorizar e implementar las actividades bajo parámetros MDL.

En términos generales, dicha estrategia responde a la necesidad de articular el MDL al quehacer sectorial, buscando maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales, derivados de la mitigación en los proyectos de transporte ya definidos en los planes de desarrollo, y que por sus propiedades tecnológicas involucren reducción de emisiones y satisfagan los requisitos del MDL. En efecto, su contribución al desarrollo sostenible se fundamenta en la generación de empleo, el mejoramiento de la calidad de vida urbana, el aumento de productividad de los usuarios, y los cobeneficios al ambiente asociados con la calidad del aire.

A pesar de no contar con metodologías de línea base y monitoreo; una actividad importante de la agenda de trabajo fue el desarrollo de las mismas; este es uno de los principales productos del trabajo interinstitucional<sup>25</sup>, que contó con el apoyo del sector privado, Trasmilenio S.A., la Corporación Andina de Fomento (CAF) y el Gobierno de los Países Bajos. También, se establecieron las bases técnicas para viabilizar diferentes SITM como proyectos MDL para el ámbito mundial, los cuales poseen un potencial de generación de reducción de emisiones que asciende a 5.675.084 t de CO<sub>2</sub> eq para un periodo de siete años. Véase la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Potencial de reducción de emisiones por la implementación del SITM en las principales ciudades del país

Ciudad	Nombre del proyecto	Potencial estimado de reducción de emisiones		
		CO <sub>2</sub> eq	Periodo en años	Promedio anual
Bogotá	BRT Bogotá, Colombia: TransMilenio fase II a IV	1.725.940	7	246.563
Cartagena	Sistema Integrado de Transporte Masivo de Cartagena	280.000	7	40.000
Barranquilla	Sistema Integrado de Transporte Masivo para la ciudad de Barranquilla	167.583	7	23.940
Cali	Sistema Integrado de Transporte Masivo - MIO, Cali, Colombia	1.793.969	7	256.281
Bucaramanga	Reducción de las emisiones de gases efecto invernadero por la implementación de un sistema de buses rápidos que operan de una manera más eficiente y ordenada en el Área Metropolitana de Bucaramanga	483.000	7	69.000
Medellín	Implementación del Sistema Integrado de Transporte Masivo (BRT) en el Valle de Aburrá	990.840	7	141.549
Pereira	Megabus, Pereira, Colombia	233.752	7	33.393
Medellín	Sistemas de transporte masivo basados en rieles en el Valle de Aburrá y regiones cercanas	70.000	7	10.000
Medellín	Sistemas de transporte masivo basados en rieles en el Valle de Aburrá y regiones cercanas	560.000	7	80.000
Medellín	Sistemas de transporte masivo tipo cable aéreo en rieles en el Valle de Aburrá y regiones cercanas	118.676	7	16.954

Fuente: Portafolio colombiano de proyectos MDL (MAVDT, 2009)

También es importante mencionar que se desarrolló la metodología de pequeña escala de cables aéreos para transporte masivo de pasajeros, diseñada para el MetroCable de Medellín, la cual tiene replicabilidad en ciudades con topografía escarpada, por ejemplo Manizales, que ya está contemplando el componente MDL en el Cable Vía.

25 Methodology for Bus Rapid Transit Projects, Version 1.

Dicho proyecto genera un alto impacto social, ya que contribuyó a incrementar la seguridad en las comunas de Medellín y responde al esfuerzo de la CAF, la Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá, el Centro Nacional de Producción más Limpia y Grütter Consulting.

De lo expuesto, se puede concluir que en los últimos ocho años Colombia ha avanzado con acciones concretas que mejoran la calidad de vida urbana en las grandes ciudades, optimizan la movilidad del servicio de transporte y aumentan la competitividad de los grandes centros urbanos del país. Lo anterior se traduce en impacto directo sobre la reducción de emisiones de GEI procedentes del sector transporte.

Es necesario resaltar la investigación que realizó el Ideam sobre el impacto ambiental y social relacionado con la generación y uso de los biocombustibles en Colombia, en 2008 y 2009 en la que se recopiló información técnica y científica para apoyar al SINA y al gobierno nacional en el establecimiento de criterios que hagan sostenible, ambiental y socialmente el desarrollo del sector de los biocombustibles en Colombia (Ideam, 2008 y 2009).

### 3.3.2.2 Gas natural vehicular

A partir de la década de los años noventa, en Colombia se han realizado diferentes esfuerzos para masificar el consumo de gas natural, como estrategia de promoción de una matriz energética más limpia y eficiente para el país. Con este propósito, el Programa para la Masificación del Gas Natural y Plan Gas (DNP, 1991 y 1993) definieron como estrategia la sustitución de combustibles de alto costo por gas natural en los sectores industrial, comercial, residencial y termoeléctrico.

En términos del uso del gas natural como alternativa para una movilidad limpia, el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la UPME (2002), mediante un diagnóstico evidenciaron la pertinencia de utilizar dicho combustible en el sector transporte, dadas las reservas probadas de gas natural<sup>26</sup>. Tal alternativa permite racionalizar el consumo de combustibles, aumentar la eficiencia energética, reducir la contaminación ambiental, diversificar la oferta de combustibles y fortalecer la balanza comercial mediante la disminución de la importación de combustibles en el sector transporte.

Por lo anterior, en el PND 2002-2006 desarrolló una estrategia para el impulso a la exploración y explotación de hidrocarburos, se definió el programa de incremento de vehículos convertidos a gas natural, que definió como meta para el cuatrienio la conversión de 64.000 vehículos; dicha cifra fue superada al alcanzar 168.523 unidades para diciembre de 2006. Igualmente, el PND 2006-2010, continuó con el mismo programa y estableció una meta de 160.000 vehículos convertidos, logrando para noviembre de 2008, un total acumulado de 277.685 vehículos transformados a gas natural en el país (MME, 2006 y 2008). Al respecto es necesario tener en cuenta dos iniciativas en formulación, consistentes en la conversión de vehículos livianos y semipesados de gasolina a gas natural vehicular comprimido (GNVC) en quince departamentos. Con dichos proyectos se pretende convertir alrededor de 14.500 vehículos por año, lo cual equivale a reducir aproximadamente 380.936 t de CO<sub>2</sub> eq.

En el cumplimiento de tales metas, el MME promueve el desarrollo del programa de gas natural como combustible automotor, con la finalidad de sustituir la gasolina y el ACPM; además, se definieron estímulos bajo la Ley 788 de 2002 de Reforma Tributaria, en términos de exención del IVA para partes y equipos de estaciones de servicio de gas y kits de conversión de vehículos a gas. Igualmente, el desmonte gradual de subsidios de combustibles líquidos sustitutos del gas natural (gasolina y ACPM), conllevando a aumentos periódicos en el precio de estos combustibles, revelando así la mayor competitividad del gas natural (SIGOB, 2002-2006; 2006-2010; Programa incremento de vehículos convertidos a gas natural).

### 3.3.2.3 Mejora en la calidad del aire y los combustibles

En el marco de las directrices planteadas por la política sobre la prevención y control de la contaminación del aire<sup>27</sup> (DNP, 2005), los ministerios de Minas y Energía, de Protección Social, y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establecieron límites de emisiones y el uso de combustibles limpios para los sistemas de transporte público.

El uso de combustibles limpios determinado por la Resolución 180158 de 2007 del MME, de conformidad con lo cosagrado en la Ley 1083 de 2006, estableció que a partir del primero de enero de 2010, las empresas prestadoras del servicio de transporte público de pasajeros que operen en áreas urbanas, utilicen vehículos que funcionen con combustibles limpios como hidrógeno, alcohol carburante, gas natural, gas licuado de petróleo, biodiesel, diesel menor de 50 ppm de azufre, gasolina reformulada y energía eléctrica.

26 7.489,74 Giga Pies Cúbicos (GPC) a diciembre 31 de 2001. Fuente: Ecopetrol citado en MME & UPME, 2002; 3.881,35 GPC a diciembre de 2007. Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Informe anual de reservas 2007, citado por el MME, 2008.

27 Documento Conpes 3344.



### 3.3.2.4 Otras iniciativas: carro eléctrico

Con el objeto de apoyar diferentes actividades que contribuyan a la mitigación de cambio climático, el gobierno colombiano a través del MAVDT, ha promocionado el uso del carro eléctrico en el país. Tal alternativa a la movilidad que contribuye a la reducción de emisiones y al mejoramiento de la calidad del aire junto con los SITM, promete ser una de las alternativas del transporte urbano en un futuro próximo; con este fin, el MAVDT estableció la exención de arancel de importación (35%), que junto con el bajo costo energético para su uso, hará que este novedoso medio de transporte sea más común en las calles (MAVDT, 2008).

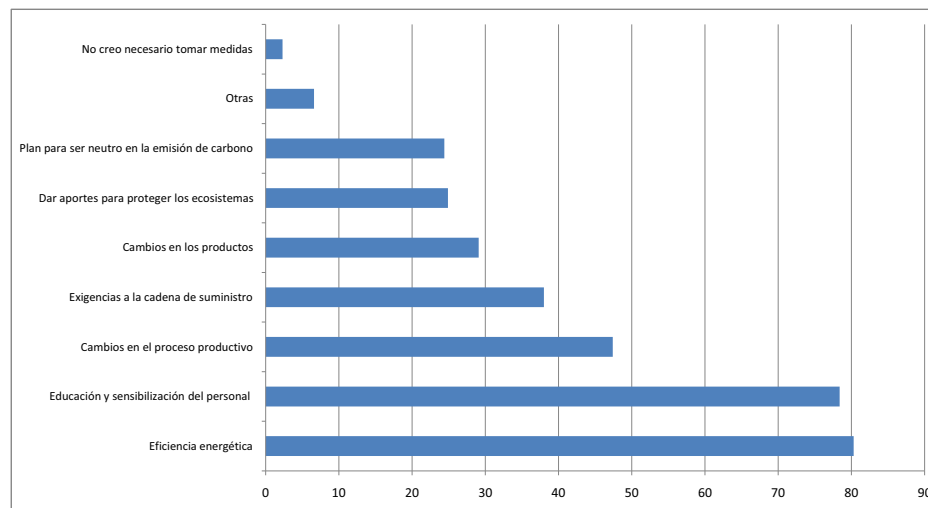
### 3.3.3 Sector industrial

Según la encuesta de opinión industrial conjunta realizada por la ANDI<sup>28</sup> en octubre de 2009<sup>29</sup>, la percepción empresarial frente al cambio climático indica un alto nivel de preocupación sobre el tema, reflejado en que 69,7% de los empresarios colombianos consideran que su negocio se verá afectado por este fenómeno.

Las principales afectaciones que identifican los empresarios son las siguientes: un 74,9% prevé un incremento en los costos de la energía, un 51,8% escasez de agua, 40,8% un incremento de la carga fiscal para atender los efectos del cambio climático y un 40,3% la expedición de nuevas regulaciones. Con un menor consenso, dada la diversidad de condiciones naturales del país y la variedad de sectores encuestados, se encuentran otros efectos esperados como: nuevos requerimientos de los clientes (28,8%), incremento de los desastres naturales (26,7%) y nuevas barreras comerciales (25,7%). Sin embargo, no todas las percepciones son negativas, es de destacar que un 25,1% de los empresarios perciben nuevas oportunidades de negocios.

Dentro de las medidas que tomarán los empresarios en los próximos cinco años para mitigar el cambio climático, se destacan principalmente la eficiencia energética (80,3%) y la educación y sensibilización del personal de sus empresas (78,4%). Estas respuestas combinan, de manera prometedora, medidas tecnológicas con acciones educativas. Por otra parte, un 47,4% efectuarán cambios en sus procesos productivos y un 29,1% en sus productos; mientras tanto, un 38% proyecta extender las exigencias a su cadena de suministro, 24,9% aportará para la protección de los ecosistemas y 24,4% planea tomar acciones concretas para neutralizar las emisiones de carbono (ver Figura 3.5).

Figura 3.5. Medidas de mitigación que adoptarían los empresarios colombianos para enfrentar el cambio climático



Fuente: ANDI, 2009.

Es importante mencionar que la ANDI, es una agremiación que está integrada por un porcentaje significativo de grandes empresas pertenecientes a sectores como el industrial, financiero, agroindustrial, de alimentos, comercial y de servicios, entre otros.

### 3.3.4 Sector uso del suelo, cambio de uso y silvicultura (USCUSS)

El desarrollo de las medidas de mitigación pertinentes al módulo Uscuss (según la estructura del inventario de GEI), donde se incluye el sector forestal, se analiza desde el ámbito de los diferentes instrumentos de política que ha

<sup>28</sup> Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.

<sup>29</sup> Esta encuesta incluyó por primera vez un módulo especial sobre el tema del cambio climático y su impacto sobre la industria colombiana.

diseñado el gobierno nacional en materia forestal, los cuales de manera indirecta involucran medidas de mitigación, tal es el caso de la Política de Bosques (DNP, 1996), el Plan Verde (DNP & MMA, 1998) y el Plan Nacional de Desarrollo Forestal (DNP *et al.*, 2000).

Adicionalmente, desde el año 2002, el MAVDT ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de proyectos forestales de mitigación, no sólo promoviendo este tipo de actividades desde el ámbito del MDL, sino también fortaleciendo la capacidad nacional de formulación, negociación y ejecución.

Los objetivos de los instrumentos de política y las medidas que involucran en materia de reducción de emisiones, que vistas a la luz del cuarto informe de valoración del IPCC (2007a), se pueden clasificar en: conservación y manejo de sumideros de carbono, y creación de nuevos sumideros, ya sea por el incremento de biomasa forestal y carbono orgánico del suelo. Por lo anterior, el plan de trabajo en mitigación del sector forestal, basado en los instrumentos de política reseñados, se convierte en el primer gran paso que el país realiza con el propósito fundamental de fortalecer la generación y reconocimiento del servicio ambiental de remoción de dióxido de carbono, derivado de las externalidades positivas del bosque bajo los esquemas de la Convención y el Protocolo de Kioto.

De las actividades del plan de trabajo se destacan: 1) determinación de áreas con potencial para la ejecución de proyectos forestales de mitigación de cambio climático, de acuerdo con la definición de bosque para Colombia en el marco del MDL (MAVDT & Ideam, 2005); 2) principios, requisitos y criterios para la aprobación de proyectos forestales MDL; 3) formulación preliminar del proyecto forestal nacional MDL, con un potencial aproximado de reducción de emisiones de 26.000.000<sup>30</sup> t de CO<sub>2</sub> eq en 25 años.

Una de las debilidades de esta agenda fue el desarrollo de metodologías para línea base y monitoreo a partir de un único proyecto piloto previamente identificado, bajo la premisa de que la misma metodología se pudiese aplicar a todo el territorio, dificultando el desarrollo del portafolio. De otra parte, la agenda se enfocó en proyectos muy ambiciosos, de implementación compleja, dejando de lado los proyectos piloto a pequeña escala, los cuales de acuerdo con la simplificación de modalidades y procedimientos, son más sencillos en su formulación, validación, registro e implementación, reflejándose en menores costos (UNFCCC, 2005).

A continuación se presentan los principales logros de la política sectorial, que muestran su grado de implementación a nivel nacional, reflejado en el número total de hectáreas reforestadas, ya sea de carácter protector, comercial y avances en materia de ordenación forestal.

Durante el periodo 2002-2008, el MAVDT ha fomentado el establecimiento de alrededor de 151.821 ha de reforestación protectora, con el objeto de apoyar la gestión integral del recurso hídrico, lo que ha representado un promedio anual de reforestación de 21.689 ha. Se estima que éstas poseen un potencial de reducción de emisiones que asciende a 13.175.937 t/C en 20 años<sup>31</sup>.

Con respecto a la reforestación comercial, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), a través de diferentes instrumentos de apoyo financiero como el Certificado de Incentivo Forestal (CIF), promovió la siembra de 96.287 ha con especies forestales maderables (entre 2002 y 2008), correspondiente a un promedio anual de siembra de 12.120 ha, y de 13.996 ha de caucho (*Hevea brasiliensis*); cifras que a finales de 2008 acumulan 260.287 ha comerciales y 20.783 ha de caucho, para 2006. La Tabla 3.3 y la Figura 3.6, muestran la tendencia positiva en el crecimiento de plantaciones forestales en el país.

Tabla 3.3 Reforestación (ha) protectora, comercial y caucho

años	Protectora anual	Total protector	Comercial anual	Total comercial	Total protector y comercial	Total caucho
1999	-	-	-	145.759	145.759	-
2000	-	-	15.522	161.281	161.281	-
2001	-	-	2.719	164.000	164.000	-
2002	30.539	30.539	4.059	168.059	198.598	6.787
2003	25.804	56.343	7.137	175.196	231.539	8.727
2004	15.151	71.494	14.517	189.713	261.207	12.191
2005	47.110	118.604	10.990	200.703	319.307	15.244
2006	6.874	125.477	8.581	209.284	334.761	20.783
2007	20.225	145.702	26.003	235.287	380.989	-
2008	6.119	151.821	25.000	260.287	412.108	-

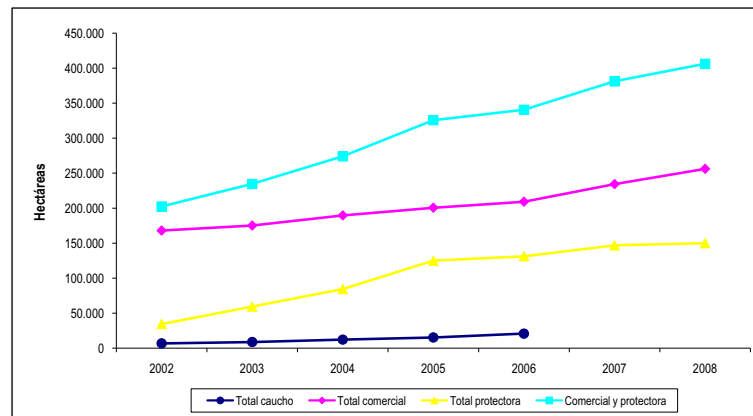
Fuente: SIGOB, 2008.

30 Datos adaptados según la información suministrada por MAVDT, en la cual los proyectos forestales MDL representan un potencial anual de reducción de emisiones de 1.247.919 t de CO<sub>2</sub> eq.

31 Se analizaron diferentes datos de crecimiento de especies nativas (Del Valle *et al.*, 2003; IPCC, 2006), lo cual permitió definir un índice de la productividad primaria neta (t/ Biomasa/ha); adicionalmente, se empleó la metodología, nivel 1 (IPCC, 2006) para estimar el potencial de reducción de emisiones reportado. Para el cálculo se asumió una mortalidad de 30% en plantaciones protectoras dado la menor sobrevivencia de las especies nativas bajo esquemas de reforestación en el país.

En un horizonte de 20 años, se estima un potencial de reducción de emisiones equivalente a 42.640.216 t/C<sup>32</sup>, para el total de las plantaciones comerciales y 1.607.773 t/C para las plantaciones de caucho<sup>33</sup>.

Figura 3.6 Reforestación protectora, comercial y caucho, años: 2002-2007



Fuente: SIGOB, 2008.

De otro lado, de acuerdo con las metas planteadas para el 2019, en las que el promedio de reforestación anual deberá llegar a 40.000 ha anuales y la deforestación a igual tasa, que representan actualmente alrededor de 80.000 ha; además, se deberá alcanzar una oferta forestal productiva de 1,2 millones de hectáreas, que actualmente es de 145.000 (DNP, 2007).

En términos de ordenación forestal, las actividades realizadas se concentran en la priorización de áreas (20.000 ha), la formulación de planes de ordenamiento (294.795 ha) y las áreas ordenadas o en proceso de ordenación (4.169.598 ha).

Adicionalmente, cabe destacar el impacto positivo del Programa Familias Guardabosques de la Presidencia de la República dirigido a comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes, que han tomado la decisión de erradicar voluntariamente los cultivos ilícitos localizados en ecosistemas estratégicos para reemplazarlos por alternativas productivas legales y proyectos ambientales. Dichos proyectos se orientan a contribuir con el manejo sostenible del bosque (ONUCDD & Acción Social, 2007), a través de "estrategias participativas que permitan poner en marcha planes de uso y manejo alternativo de los bosques y de los recursos naturales, así como actividades de recuperación, revegetación y conservación de sus territorios, con criterios de ordenamiento territorial y enfoque de desarrollo local"<sup>34</sup>.

Según la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (ONUCDD & Acción Social, 2007a), en el programa familias guardabosques están vinculadas 88.488 familias, que mantienen en protección 282.588 ha de bosques, rastrojos y páramos, junto con la recuperación de 53.477 ha. Igualmente, están vinculadas a proyectos productivos 49.874 familias con 87.748 ha de cultivos legales, abarcando sistemas productivos agroforestales, plantaciones forestales, cacao y caucho entre otros, los cuales se establecen bajo criterios de sustitución de tala y quema, incorporación de rastrojos, labranza mínima, rotación de cultivos y uso de abonos orgánicos<sup>35</sup>.

### 3.3.4.1 Reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques (REDD)

El IPCC estima que para la década del noventa, aproximadamente 20% de las emisiones globales de GEI, contabilizadas en 1,6 billones de toneladas de carbono anuales, se produjeron como consecuencia de la deforestación en zonas tropicales (UNFCCC & SBSTA, 2006; CAN, 2007; IPCC, 2007; Parker *et al.*, 2009). De esta manera, las actividades encaminadas a reducir o evitar la deforestación para prevenir las emisiones de dichos gases a la atmósfera (ej. el dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>), son vistas como una opción de mitigación al cambio climático.

La CMNUCC reconoció en la treceava reunión de las Partes (COP13) realizada en Bali - Indonesia (2007), que un enfoque integral para mitigar el cambio climático debe incluir el desarrollo de "las aproximaciones de política y los incentivos positivos relacionados con la Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación de los bosques

<sup>32</sup> La estimación se realizó a partir de datos sobre el promedio de crecimiento anual de las principales especies forestales comerciales en Colombia. Fuente: módulo Uscuss, inventario GEI años 2000 y 2004.

<sup>33</sup> Incrementos de carbono para plantaciones de *Hevea Brasiliensis* en Colombia, reportados por: Buitrago *et al.*, 2005.

<sup>34</sup> Objetivo ambiental del programa Familias Guardabosques.

<sup>35</sup> Con el objeto de vincular las actividades del Programa presidencial contra cultivos ilícitos con instrumentos de mitigación.



en países en desarrollo, así como el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el incremento de los reservorios de carbono en los bosques de los países en vías de desarrollo” (CMNUCC, 2007).

La Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación de Bosques (REDD), es el mecanismo que actualmente se viene negociando dentro de la CMNUCC para lograr el objetivo de disminuir las actuales tasas de emisión, principalmente en países en desarrollo, asociadas con el cambio en el uso de la tierra de ecosistemas boscosos.

REDD supone que aquellos países interesados y que puedan reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y degradación puedan ser compensados financieramente por estas acciones. Se espera que este mecanismo sea aprobado definitivamente por la CMNUCC y contribuya a mitigar las emisiones de GEI a la atmósfera, favoreciendo, además, la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, combatiendo la pobreza, y estimulando el desarrollo sostenible de las comunidades que dependen directamente de los bosques (UNEP - WCMC, 2007; Parker *et al.*, 2009).

De ahí que el MAVDT ha venido realizando consultas y mesas de trabajo con los diferentes actores sectoriales (un ejemplo es la Mesa REDD, establecida en febrero de 2009, con diferentes ONG ambientales del país), con el propósito de socializar y analizar este nuevo instrumento de mitigación. Así mismo ha participado en diferentes instancias de fortalecimiento técnico, metodológico e institucional que se vienen presentando a nivel internacional.

Con relación a las actividades de consulta y concertación, se destacan los diálogos mantenidos sobre las barreras y necesidades institucionales para implementar proyectos, así como la forma en que la deforestación evitada puede generar beneficios adicionales en materia de ordenación forestal y desarrollo rural. Como resultado se evidenció que existe una clara articulación para la implementación de nuevos proyectos de mitigación en el marco de la política forestal del país.

De otro lado, en la medida en que se desarrollen actividades piloto en el país, se podrán determinar las actuales necesidades y barreras, al igual que otras oportunidades que se generarían para Colombia en el contexto de cambio climático y el apoyo a la gestión forestal.

El éxito de la implementación de REDD depende en gran medida de la capacidad técnica e institucional que tengan los países en desarrollo para controlar y medir la deforestación y las emisiones de gases efecto invernadero asociadas. Por esto, el MAVDT y el Ideam formularon el Proyecto “Capacidad Institucional Técnica Científica para apoyar Proyectos REDD: Reducción de Emisiones por Deforestación en Colombia” que inició en el año 2009 y será desarrollado durante dos años por el Ideam con el apoyo de la Fundación Natura gracias a una donación de la Fundación Gordon and Betty Moore.

La iniciativa busca fortalecer la capacidad técnica que necesita el país para implementar mecanismos y proyectos para reducir las emisiones de GEI generadas por la deforestación y degradación de los bosques (REDD), y apunta a conformar un esquema institucional para implementar este tipo de proyectos.

Estos resultados esperados van a tener beneficios adicionales para la gestión forestal dentro de las políticas y normas ambientales, pues van a dotar al Sistema Nacional Ambiental con un sistema de monitoreo que será una herramienta fundamental para la gestión de las autoridades ambientales y de las comunidades indígenas y afro descendientes.

El proyecto avanza en el desarrollo de los protocolos subnacionales y nacionales de procesamiento de imágenes para monitorear deforestación, de estimación de carbono en bosques y otras coberturas vegetales y el de monitoreo de biomasa por medio de sensores remotos, igualmente, se ha llevado a cabo un ejercicio preliminar para la cuantificación de la tasa de deforestación para el periodo 2000-2007. Se espera para los próximos meses generar la línea base histórica de deforestación en el país, la estimación de los stocks de carbono para los diferentes tipos de ecosistemas boscosos y la elaboración del mapa de áreas potenciales para la implementación de proyectos REDD en Colombia, así como el desarrollo de una plataforma web institucional enfocada al apoyo a los desarrolladores de proyectos.

Además, el país fue elegido para recibir recursos del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF por su sigla en inglés), por medio del cual el país desarrollará su etapa de preparación para la participación de los mecanismos REDD que se desarrollen en el marco de la CMNUCC. Esta preparación incluye un análisis institucional, instancias de participación y concertación con comunidades locales, tendencias de cambio en el uso de la tierra, gobernabilidad, así como el planteamiento de una serie de opciones estratégicas y un marco de implementación REDD a nivel nacional. Esta serie de acciones, conjuntamente con los reconocidos desarrollos institucionales y programáticos del país orientados a la conservación del medio ambiente, permitirán posicionar a Colombia como uno de los países líderes en el tema REDD a nivel mundial en los próximos años.

### 3.3.5 Sector agricultura

Los planes nacionales de desarrollo (PND)<sup>36</sup>, reconocen la responsabilidad para el sector agropecuario de promover el desarrollo y aprovechamiento de bienes y servicios ambientales, que incidan en el fortalecimiento de las ventajas comparativas de la agricultura colombiana, por lo tanto, se proponen acciones políticas encaminadas hacia el fomento de sistemas productivos que amplíen la oferta de servicios ambientales. Adicionalmente, se prevé la implementación de acciones tempranas en materia de control de erosión, captura de carbono e incentivos a la producción ecológica y apoyo a proyectos de reducción de emisiones bajo el MDL<sup>37</sup> (DNP, 2003 y 2007).

Por lo anterior, el componente ambiental de la Política Agropecuaria (MADR, 2003 y 2006) se fundamenta en dos ejes como son: 1) garantizar una producción suficiente de alimentos para la población; 2) la protección de los diferentes agroecosistemas productivos. En consecuencia, la gestión ambiental agrícola se establece con dos instrumentos de planificación; el primero, la Agenda Ambiental Interministerial entre el MAVDT y MADR, con el propósito de “integrar las acciones institucionales y las políticas y programas que desarrollan los dos ministerios” y el segundo, el Plan Estratégico Ambiental del Sector Agropecuario (PEASA), que busca “establecer un marco estratégico que incorpore activamente la gestión ambiental en los sistemas productivos agropecuarios, promoviendo la competitividad en los mercados nacionales e internacionales y estimulando el uso sostenible de los recursos naturales y los agroecosistemas”.

La agenda de trabajo interministerial define entre otras líneas de acción, que integran medidas de mitigación: 1) conservación y uso sostenible de bienes y servicios ambientales (regulación del clima y oferta hídrica), la cual propende por una gestión integral en materia de recursos forestales, ecosistemas estratégicos y agrobiodiversidad, gestión en servicios de mitigación de cambio climático y apoyo a proyectos MDL y, 2) sostenibilidad ambiental de la producción nacional, que busca un desarrollo en materia de gestión en sistemas alternativos de producción agropecuaria sostenible y fomento a la producción ecológica, gestión ambiental para la producción agropecuaria incentivar el uso eficiente del suelo y el riego. Además, se tiene la gestión integral de residuos, manejo integral del suelo, fomento de sistemas agroforestales y silvopastoriles, y apoyo al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac) para la elaboración del mapa de Uso actual y potencial del suelo a escala 1: 100.000.

El PEASA propende por un manejo integral de los recursos naturales que permita la sostenibilidad de los bienes y servicios ambientales que sustentan la producción, además de fortalecer la capacidad sectorial para afrontar retos que suponen una amenaza para la base productiva, tal es el caso de la desertificación y el cambio climático.

Dicho plan estratégico cuenta con dos ejes: investigación y desarrollo tecnológico para la sostenibilidad agropecuaria y ambiental. Estos ejes temáticos albergan actividades de reducción de emisiones, como son el fomento y desarrollo de sistemas productivos bajo esquemas de: 1) agroforestería y sistemas silvopastoriles; 2) gestión integral del suelo, 3) buenas prácticas agrícolas (BPA); 4) agricultura ecológica; 5) agricultura de precisión (evaluación de insumos requeridos por unidad de suelo en producción) y; 6) bancos de germoplasma vegetal, bovino y microorganismos.

De acuerdo con el último reporte del IPCC (2007a), en términos de mitigación, las actividades 1, 2 y 3 se definen como de conservación y mejoramiento de sumideros de carbono existentes; las actividades 4 y 5 corresponden a la gestión en el uso de insumos y fertilizantes que eviten emisiones de N<sub>2</sub>O; y la actividad 6 es una medida que busca el aumento de la productividad por unidad de insumo.

En el marco del PEASA, hasta octubre de 2008, se han desarrollado diferentes proyectos de acuerdo con los ejes temáticos relacionados con: 1) sistemas agroforestales, como alternativas de uso de la tierra con criterios de competitividad, sociales y ambientalmente sostenibles; 2) tecnologías para uso y manejo integral del recurso suelo que contribuyan al establecimiento de sistemas de producción sostenibles y competitivos; 3) procesos de innovación tecnológica en sistemas productivos que contribuyen a la producción agropecuaria más limpia y; 4) biotecnología animal. En el Anexo 3.4 de este capítulo se presentan los principales proyectos de agroforestería y gestión integral del suelo.

Si bien se advierte un avance, se requerirán estudios científicos a escala detallada que permitan evaluar cuantitativamente las reducciones de emisiones de GEI generadas por estas actividades, porque a la fecha no existen reportes de las reducciones obtenidas o esperadas.

De otro lado, es pertinente mencionar aquellos programas que contribuyen a la reducción de emisiones desde el ámbito de la producción bovina, a pesar de no haber sido definidos para dicho propósito, tal es el caso del Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana (Fedegan, 2006) el cual aborda diferentes metas que se articulan con la mitigación.

<sup>36</sup> PND 2002-2006. Hacia un Estado comunitario: 2006-2010. Estado comunitario: desarrollo para todos.

<sup>37</sup> Se prevé contar con un fondo especial para la inversión en proyectos forestales.

Estas metas hacen referencia a un aumento de la productividad tanto de carne y leche a nivel nacional, bajo criterios de sostenibilidad ambiental, incluyendo mejoramientos en nutrición animal y un mayor uso de la tierra por unidad de gran ganado (Fedegan, s.f.). Sin embargo, con el objeto de evaluar la efectividad de dichas medidas se requerirán estudios a nivel de predios ganaderos, donde se evalúe cuantitativamente la dinámica de las emisiones de metano.

### 3.3.5.1 Línea de investigación agricultura y cambio climático con el MADR

El MADR, consciente de la relevancia que el cambio climático posee en el desarrollo del sector agropecuario, diseñó una estrategia de investigación ligada a las cadenas productivas, denominada Agricultura y Cambio Climático, que aborda de manera directa respuestas para el sector desde tres componentes: mitigación, evaluación de la vulnerabilidad y medidas en términos de adaptación.

Esta nueva agenda de trabajo, actualmente en ejecución, se desarrolla en el marco de la convocatoria nacional para la financiación de programas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, para el sector agropecuario por cadenas productivas. Los programas de investigación y sus respectivos proyectos son ejecutados mediante una alianza entre la academia, centros de investigación y el sector productivo. Dicha condición, pretende desarrollar investigación aplicada a diferentes sistemas productivos y fortalecer el sistema nacional de ciencia y tecnología del sector agropecuario (MADR, 2008).

Los programas de investigación propuestos en el marco de dicha convocatoria desarrollan y evalúan diferentes tecnologías de mitigación e incluso adaptación, bajo cuatro grandes ejes: 1) evaluación de los niveles de remoción o captura de CO<sub>2</sub>, bajo diferentes sistemas productivos, 2) opciones de manejo de suelos, 3) medidas y tecnologías de producción bovina y, 4) evaluación de los impactos del cambio climático en la producción agropecuaria, pesquera y forestal.

A continuación, se presentan los principales programas de investigación.

- **Agroecosistemas terrestres estratégicos en la captura de CO<sub>2</sub>**

Tiene por objeto identificar el potencial que poseen diferentes agroecosistemas en algunos municipios del departamento del Nariño, en términos del nivel de remoción de carbono bajo arreglos agroforestales (cultivos anuales con árboles, pastos y animales en sistemas de producción), como instrumento de mitigación. Tiene el propósito adicional de generar una estrategia de venta de servicios ambientales, en la cual los pequeños productores y las comunidades rurales integren este nuevo componente a nivel de finca.

Asimismo, el programa pretende: 1) fomentar en las comunidades rurales un interés directo frente al cambio climático y las tecnologías de mitigación más apropiadas para implementar; 2) contribuir a la preservación de los ecosistemas frágiles y la diversidad biológica mediante la captura de carbono y los servicios ambientales; 3) manejar adecuadamente los recursos suelo y agua, buscando la conservación de los mismos; 4) implementar acciones de restauración con arreglos agroforestales y; 5) realizar eventos de capacitación para la adopción de los arreglos agroforestales.

Si bien dicho programa aborda los sistemas agroforestales y pretende evaluar técnicamente el potencial de esta actividad como instrumento de mitigación, también incluye un componente de capacitación y apropiación por parte de las comunidades locales, lo cual se espera que genere un impacto positivo asociado con el desarrollo rural.

- **Evaluación del ciclo y balances de carbono y energía en el cultivo de la caña panelera para fines alimenticios y energéticos, bajo los escenarios de uso actual y cambios de uso en el suelo como alternativa de mitigación de cambio climático**

Este programa pretende evaluar cuantitativamente el balance neto de carbono durante el ciclo productivo de la caña panelera, así como en el procesamiento de sus productos finales, especialmente alcohol carburante, abordando toda la cadena productiva. Específicamente, se quiere determinar bajo parámetros científicos, el aporte de esta actividad agrícola a la reducción de emisiones. Con este fin, se evaluará el potencial de acumulación de CO<sub>2</sub> atmosférico, bajo los diferentes sumideros del cultivo, como la biomasa y suelo, y las posibles fuentes de emisiones de GEI durante el ciclo del cultivo y la elaboración de productos finales. A partir de un balance entre las dos actividades, se determinará si existe una reducción de emisiones por hectárea cultivada y aprovechada, durante el ciclo de producción de bioetanol.

Se espera que un balance neto positivo de carbono en la cadena productiva, caña panelera-bioetanol, permita la implementación de mejoras tecnológicas, uso racional de insumos, mejoramiento de la competitividad y positivos efectos globales asociados con la disminución de GEI. Por consiguiente, se evalúan las emisiones y remociones de carbono, bajo escenarios de uso actual y cambios en el uso del suelo, originados por la implementación del cultivo de la caña panelera



Para el desarrollo de esta investigación se han priorizado diferentes núcleos de producción de caña panelera en el país, donde la actividad posee una gran influencia en la economía local; se identifica la cuenca del río Suárez, en el departamento de Santander, y varios municipios en los departamentos de Cundinamarca y Antioquia.

- **Opciones de manejo de suelos y aguas en los sistemas agrícolas frente al cambio climático: monitoreo, mitigación y adaptación**

Este programa, integrado por diferentes proyectos, pretende desarrollar y validar diferentes medidas de respuesta ante los eventuales impactos del cambio climático. Con este objetivo se evaluarán diferentes estrategias de manejo de suelos, como lo es la rotación de cultivos y sistemas agroforestales, para zonas de producción agrícola, donde exista evidencia de alta vulnerabilidad frente al cambio climático y, por lo tanto, la producción agrícola puede estar comprometida. Así, se priorizaron áreas geográficas y departamentos como el piedemonte llanero y la planicie aluvial; Tolima, sabanas colinadas y planas de Córdoba; Sucre, Bolívar y Magdalena.

En el primer proyecto, denominado Línea base de indicadores de calidad del suelo para monitorear los efectos del cambio climático sobre los sistemas de producción agrícolas en el piedemonte llanero, se busca desarrollar y establecer indicadores de calidad del suelo que permitan monitorear los posibles efectos de las variaciones climáticas extremas sobre diferentes sistemas productivos (MADR, 2008).

El segundo proyecto, Alternativas de manejo de suelos en sistemas de rotación de cultivos, como estrategias para mitigación y adaptación frente al cambio climático en la Altiplanura Plana Colombiana y Valle Cálido del Alto Magdalena, tiene como finalidad identificar y evaluar prácticas de manejo del suelo que contribuyan a la mitigación de las emisiones de GEI y a la adaptación de los cultivos frente a variaciones climáticas severas.

En el tercer proyecto, Introducción de sistemas productivos agroforestales como estrategia de adaptación ante los impactos del cambio climático en zonas secas de Colombia, se busca evaluar tres medidas de adaptación ante los impactos del cambio climático: 1) introducción de sistemas productivos agroforestales; 2) uso del riego y; 3) utilización de información agroclimática en tiempo real. Las zonas de estudio, se ubican en el denominado triángulo del Tolima con los municipios de Coyaima, Natagaima y Purificación, y Fundación en el departamento de Magdalena.

Estas zonas se destacan por ser históricamente vulnerables a las condiciones meteorológicas, que se reflejan en su bajo desarrollo socioeconómico y en la tendencia en la degradación de suelo.

- **Alternativas de manejo en sistemas ganaderos frente al cambio climático**

Se pretende desarrollar y validar estrategias de reconversión ganadera con el establecimiento de sistemas silvopastoriles, optimizar la nutrición animal y mejorar la disponibilidad de recursos como el agua y suelo, asociados con la producción bovina. Se buscan mayores niveles de producción por Unidad de Gran Ganado (UGG), a la vez que se quiere hacer más rentable la producción, disminuir los costos y contribuir a la reducción de emisiones de GEI.

El programa contempla un estudio del grado de vulnerabilidad de la explotación ganadera frente al cambio climático en el departamento de Risaralda. Con este fin se desarrollará e implementará un sistema de monitoreo que evalúe la disponibilidad hídrica y degradación de suelo en las zonas de explotación ganadera frente a los posibles impactos en la variación de las condiciones hidrometeorológicas de la zona.

### 3.3.5.2 Línea de investigación agricultura y cambio climático: alianza Ideam - Corpoica

Dentro de la convocatoria nacional del MADR para la cofinanciación de programas y proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el sector agropecuario por cadenas productivas en el año 2008, se concretó la alianza entre el Ideam, Corpoica y otras instituciones para adelantar la investigación en áreas temáticas del manejo sanitario y fitosanitario. Los proyectos que terminarán en el año 2011, son:

1) cambio climático y fluctuaciones de clostridios patógenos asociados con el suelo, con el fin de establecer la relación de las enfermedades causantes de la mortalidad súbita de los bovinos productores de leche (*Bos taurus*); 2) desarrollo de un sistema de alerta temprana para el chinche de los pastos con base en la dinámica de su población y su relación con el cambio climático; 3) modelación del efecto del cambio climático sobre la distribución de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el trópico alto colombiano y; 4) investigación sobre los efectos del cambio climático en la distribución altitudinal de insectos plaga y sus enemigos naturales, con el caso del cultivo del café en Colombia.

De las instituciones participantes se destacan: Centro Nacional de investigaciones del café (Cenicafé), la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica), el Instituto de investigación de recursos biológicos, Alexander von Humboldt (IAvH), la Asociación nacional de productores de leche (Analac), la Universidad de Cundinamarca, la Asociación de productores de leche de Ubaté, la Federación de ganaderos de Boyacá (Fabegan), el Comité de ganaderos de Zipaquirá, entre otros.

### 3.3.5.3 Línea de investigación ganadería y sistemas silvopastoriles con apoyo del GEF y el Banco Mundial

El sector ganadero en Colombia ha venido mostrando cada vez mayor preocupación e interés por los asuntos del medio ambiente a través de inversiones en ciencia y tecnología, gestiones de política pública, asistencia técnica y capacitación en asuntos de mitigación al cambio climático tal como consta en sus diferentes publicaciones, en especial el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (Fedegan, 2006). Dos proyectos ganaderos que cuentan con el apoyo del GEF y el Banco Mundial, buscan la implementación de Sistemas Silvopastoriles (SSP) en el sector con una serie de buenas prácticas de manejo, para lograr en forma rentable reducir las emisiones de GEI y disminuir la vulnerabilidad al cambio climático. El primero de ellos es el proyecto *Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas*<sup>38</sup> (conocido como Proyecto Regional) finalizado en 2008. El segundo es el "Proyecto de Ganadería Sostenible en Colombia"<sup>39</sup> (Colombia Mainstreaming Sustainable Cattle Ranching Project) cuya ejecución se iniciará en 2010.

Los resultados alcanzados en el Proyecto Regional mostraron que los SSP pueden generar respuestas a los retos que tiene la actividad ganadera en el país con respecto a la mitigación de emisiones de GEI y a la adaptación al cambio climático. El proyecto demostró que con asistencia técnica y un esquema de Pago por Servicios Ambientales, se genera una mayor adopción de sistemas silvopastoriles, especialmente de aquellos que contribuyen a mejorar los servicios ambientales del ecosistema (captura de carbono, biodiversidad, agua, calidad de suelos) (Banco Mundial, 2008).

Según el Banco Mundial (2008), dicho proyecto impulsó el cambio de uso de la tierra en áreas ganaderas en proceso de degradación, donde las pasturas sin árboles se redujeron en casi 700 ha a lo largo del proyecto, lo que equivale a una disminución de 40% de su área, a favor de los sistemas ganaderos con cobertura arbórea que se incrementaron en 802 ha. A esto se suma el cambio en las cercas vivas que pasaron de 2.1 km a 357 km en la vida del proyecto.

Además, el proyecto demostró una mejora en la captura de carbono incremental y el carbono equivalente gracias al incremento en la cobertura arbórea y la mejora en la cobertura del suelo y las pasturas. Los SSP lograron una cifra de 1,5 toneladas de carbono capturado en cada hectárea del proyecto por cada año. En total, en las áreas del proyecto que implementaron los SSP junto con el esquema de pago por servicios ambientales, se capturaron 19,558 toneladas incrementales de carbono anual. Por otra parte, en el caso del sistema silvopastoril intensivo con *leucaena* (*Leucaena leucocephala*), se calcularon reducciones de 21% en las emisiones de metano y de 36% en las emisiones de óxido nítrico, debido a la mejora en la nutrición del ganado y una reducción en el uso de fertilizantes respectivamente (Banco Mundial, 2008).

### 3.3.6 Sector residuos

El Estado colombiano, con base en la Constitución Política de 1991, la Ley 99 de 1993 y Ley 142 de 1994, definió la política para la gestión integral de residuos con el objetivo de impedir o minimizar de la manera más eficiente, los riesgos que para el ser humano y el ambiente puedan ocasionar los residuos sólidos y peligrosos y, en especial, minimizar la cantidad o la peligrosidad de los que llegan a los sitios de disposición final (MMA, 1998).

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000) estableció los parámetros y normas técnicas para la prestación del servicio de aseo, actividades de recolección, diseño, operación y mantenimiento de rellenos sanitarios, además de las consideraciones técnicas y requerimientos que deben cumplir los sistemas de aprovechamiento de residuos como son: reciclaje, compostaje, recolección y uso de metano como parte constitutiva del proceso de Manejo Integral de Residuos Sólidos (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Por su parte, el PND de 2002-2006, estableció el programa de Sostenibilidad Ambiental, con el fin de fomentar el mercado de empresas dedicadas al aprovechamiento de residuos sólidos e impulsó iniciativas sectoriales para el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones y aprovechamiento de metano en rellenos sanitarios.

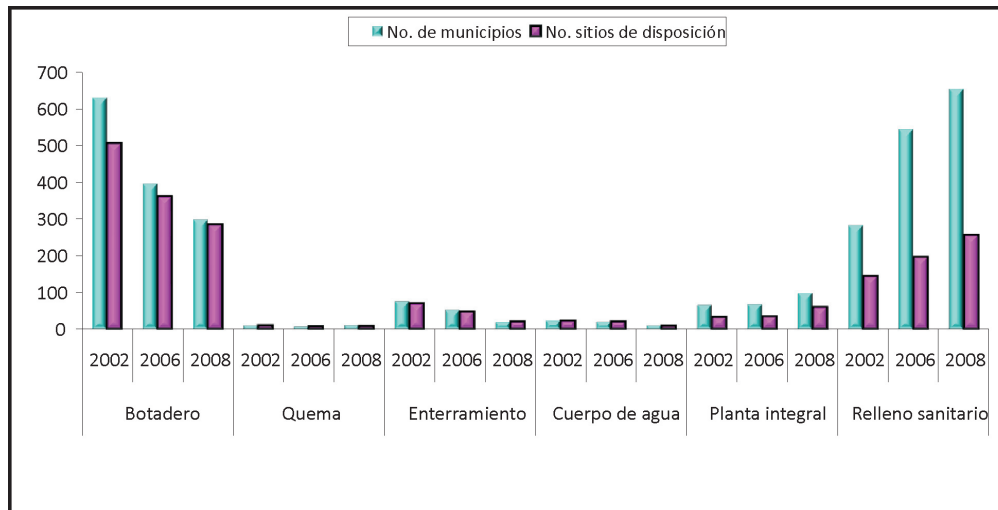
Asimismo, se destaca el avance del MADVT frente al objetivo de gestionar, prestar asistencia técnica e impulsar la formulación y desarrollo de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS); que para el cuatrienio 2002-2006 se cumplió en 532 municipios de Colombia (SUI, 2008).

38 Este proyecto fue desarrollado simultáneamente en Colombia, Costa Rica y Nicaragua entre los años 2002 y 2008 con el apoyo del GEF-Banco Mundial.

39 Este proyecto está liderado por FEDEGAN con la participación de CIPAV, el Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez y The Nature Conservancy, con el apoyo del GEF y el Banco Mundial. El proyecto busca contribuir a la conservación de biodiversidad de importancia global en los sistemas de producción ganadera incrementando la conectividad entre ecosistemas y disminuyendo la degradación de tierras en cinco áreas clave del país a través de la adopción de SSP. La conectividad entre ecosistemas incluirá también las zonas protegidas y sus áreas de amortiguación, así como zonas de importancia inmersas en la matriz productiva. El proyecto retoma el mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para evitar incentivos perversos de deforestación o destrucción de humedales al reconocer los esfuerzos de conservación de estos hábitats mediante un pago de línea de base y durante todos los años del proyecto. Además, en este esquema, los bosques maduros y los humedales privados tendrán mayor valor, desincentivando su conversión a otros usos de suelo. La recuperación, uso y propagación de árboles, arbustos y otras plantas nativas será promovida dentro de los SSP adoptados por los productores mediante un pago adicional por su inclusión a una densidad adecuada dentro de los sistemas productivos.

Con base en los reportes anuales de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), se puede mostrar la evolución en la forma de disposición final de residuos sólidos para el país, periodo 2002-2008. Las estadísticas presentan el número de municipios y sitios existentes según el tipo de disposición de residuos sólidos: botadero, quemas, enterramiento, cuerpo de agua, planta integral y relleno sanitario; véase la Figura 3.7.

Figura 3.7 Evolución de la disposición final de residuos sólidos en Colombia: 2002-2008



Fuente: Adaptado por el autor a partir de los informes anuales de la SSPD (SSPD, 2006, 2007 y 2008).

De la figura anterior (3.7) se destaca que de los 1.085 municipios de Colombia que reportaron información al Sistema Único de Información de Servicios Públicos en el año 2002, 68% disponían sus residuos en 604 sitios inadecuados (botadero a cielo abierto, quemas, enterramiento y cuerpos de agua) y 32% lo realizaban de forma adecuada, en 32 plantas integrales y 143 rellenos sanitarios. Después de entrar en vigencia la Resolución 1390/05 del MAVDT, estas cifras se invirtieron para el año 2008: 31% de municipios disponen sus residuos de forma inapropiada y 69% de forma adecuada, en 59 plantas integrales y 255 rellenos sanitarios.

### 3.3.6.1 Potencial de reducción de emisiones de los rellenos sanitarios en Colombia

El estado de avance de las políticas y la aplicación de la legislación vigente, permite analizar las medidas que directa e indirectamente contribuyen a la mitigación del cambio climático en el sector residuos. Según el cuarto informe de evaluación del IPCC (2007a), se definen como tecnologías de mitigación de corto plazo: el aprovechamiento del gas de vertederos y el gas de compostaje, junto con las iniciativas de reciclaje, reutilización y minimización de desechos.

Dentro de las estrategias tecnológicas planteadas para mejorar la salud y la seguridad pública de las comunidades urbanas y rurales a través de la gestión integral de los residuos sólidos, algunas contribuyen indirectamente a la mitigación del cambio climático; a continuación se mencionan algunas de ellas. Según el reporte de la SSPD para el año 2008, en Colombia se generan 25.079 t/día de residuos sólidos, de los cuales 92,8% (23.283,5 t/día) se disponen en rellenos sanitarios o plantas integrales de tratamiento, contribuyendo notoriamente con el mejoramiento de los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los residuos, a través de la transformación de los botaderos en rellenos sanitarios.

Si consideramos que este cambio reduce las emisiones de  $CO_2$ , ya que la fracción orgánica se descompone aeróbicamente, es inevitable que las emisiones de metano ( $CH_4$ ) aumenten, teniendo en cuenta que el proceso de descomposición se realiza bajo medios anaeróbicos, por lo cual, estas medidas contribuyen a la reducción de emisiones siempre y cuando se implementen tecnologías que permitan recuperar y utilizar el metano generado.

De otro lado, con el apoyo financiero del BID (ETEISA, 2006), se llevó a cabo un estudio a nivel nacional sobre el potencial de recuperación de metano en 20 rellenos sanitarios del país ubicados en los grandes centros urbanos, con el fin de conocer a fondo el potencial de reducción de emisiones de GEI derivado del manejo y disposición de los residuos en el país. Tal estudio incluyó la viabilidad técnica para recuperar el metano generado en estos rellenos sanitarios a partir de instrumentos de mitigación como el MDL.

Los resultados del análisis muestran que de los 20 rellenos sanitarios analizados, existe un potencial de generación de metano de alrededor de 48,8 millones de  $m^3$  para el año base 2006; lo cual obedece a un promedio anual de 2,5



millones y 788,8 millones de m<sup>3</sup> para el año 2021. En el Anexo 3.5 se presentan las cifras compiladas para los rellenos sanitarios estudiados.

El estudio concluye que la magnitud en las reducciones de emisiones que puedan evitarse, dependerá de la facilidad con que los sitios de disposición final puedan mejorar su capacidad de recolección y quema de biogás, lo que a su vez depende de los incentivos existentes en el sector para esta actividad, algunos de los cuales se podrían obtener con los mecanismos de desarrollo limpio (MDL).

Dicho estudio sirvió como punto de partida de otro tipo de iniciativas, como son los estudios de prefactibilidad dentro del marco de la alianza Metano a los Mercados (M2M). Teniendo en consideración, la magnitud de los residuos manejados y la alta participación de la materia orgánica en la composición de los residuos generados en Colombia, la administración distrital (Bogotá) ha realizado diferentes estudios con el objeto de cuantificar el potencial de generación y aprovechamiento de metano en el relleno sanitario Doña Juana; lo anterior como estrategia de mejoramiento de la calidad de aire, reducción del riesgo de explosión e incendios, eliminación de olores y reducción de emisiones de GEI procedentes de la descomposición de la materia orgánica dispuesta en el mismo.

De acuerdo con los estudios contratados por la administración distrital, el potencial de reducción de emisiones de GEI asciende a 5 Mt de CO<sub>2</sub> eq, para un periodo de 12 años. Igualmente, se identificó como estrategia de aprovechamiento del metano la purificación de éste para abastecer la demanda energética del sector industrial, lo que implica el desplazamiento de combustibles más intensivos en carbono y el fomento de energías renovables en el sector industrial colombiano (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006).

### 3.3.6.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales

A pesar de que se estima que la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del país sólo contribuye con 0,39 % de las emisiones totales de GEI del país, es importante evaluar el potencial que tiene el sector para el desarrollo de proyectos elegibles al MDL.

Según el inventario de PTAR realizado por el SINA en el año 2006, hasta ese momento sólo 355 de los 1.098 municipios de Colombia contaban con una PTAR, situación que lleva a que en los municipios restante (743) se generen emisiones de GEI por la degradación de aguas residuales (AR) no tratadas. 24% de las 411 PTAR que existían en el país hasta el 2006 funcionaban adecuadamente, mientras que el porcentaje restante de plantas funcionaba en condiciones regulares o deficientes o inclusive se desconoce el estado del funcionamiento de algunas de ellas.

### 3.3.6.3 Mercado de metano

La alianza Metano a los Mercados (M2M) es una iniciativa de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) que busca fomentar el desarrollo e implementación de proyectos para reducir y mitigar las emisiones de metano a la atmósfera, fomentar su captura y uso productivo, a la vez que se promueve el desarrollo de mercados alternativos de carbono en las mayores fuentes de generación de metano, tales como rellenos sanitarios, residuos agrícolas, industria oil & gas y explotación de minas de carbón.

El MAVDT firmó en noviembre de 2004 los términos de referencia de la Alianza. Actualmente, la Alianza M2M cuenta con 30 países miembros, después de iniciar con 14 países, y una red (Project Network) de más de 900 miembros alrededor del mundo, tales como instituciones financieras, consultores, proveedores de tecnología, ONG, desarrolladores de proyectos y la industria.

Las actividades de M2M contempladas en cada sector (agricultura, petróleo y gas, rellenos sanitarios y minas de carbón) comprenden la identificación de oportunidades de proyecto, estudios de prefactibilidad y factibilidad, apoyo a la transferencia de tecnología, capacitación y construcción de capacidad, talleres y conferencias, salidas de campo, documentos técnicos e investigación, y demostraciones de tecnologías. Para la realización de dichas actividades, el MAVDT cuenta con la colaboración del Ministerio de Minas, el Ministerio de Agricultura y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Los avances más significativos de las actividades M2M en Colombia por sector han sido los siguientes:

- **Rellenos sanitarios**

La US-EPA ha contribuido con cuatro reportes de evaluación para determinar el potencial de captura y aprovechamiento de biogás generados en los rellenos sanitarios: Loma de los Cocos (Cartagena), Doña Juana (Bogotá), El Navarro (Cali) y La Pradera (Medellín); estos cuatro proyectos fueron presentados en la primera Feria de Metano a los Mercados realizada en Beijing en el año 2007. De estos cuatro proyectos, Doña Juana y la Pradera ya han sido registrados ante la Junta Ejecutiva del MDL y serán presentados como casos exitosos en la segunda Feria de la alianza M2M que se realizará en la India en 2010.

Dos estudios de pre-factibilidad están en la etapa final de su desarrollo para los rellenos sanitarios: El Tejar de Turbo, en Antioquia y Villa Karina de Calarcá, en el Quindío. Además, cuatro nuevos estudios de pre-factibilidad para rellenos de mediana capacidad se encuentran en etapa inicial: El Guacal (Heliconias, Antioquia), Las Margaritas (Santo Tomás, Atlántico), Nuevo Mondoñedo (Bojacá, Cundinamarca) y San Juan del Barro (Florencia, Caquetá). Adicionalmente, se han realizado dos talleres de divulgación y capacitación: en marzo de 2008, referente a las oportunidades de aprovechamiento de biogás en los rellenos sanitarios, y en abril de 2009, dirigido a la operación de rellenos sanitarios y su relación con el potencial de generación de biogás para su posterior aprovechamiento.

- **Petróleo y gas**

En octubre de 2005, se realizó un taller para divulgar las oportunidades de la industria del petróleo y gas para mitigar emisiones de metano. Actualmente, se está llevando a cabo un estudio en seguridad e integración de la red de hidrocarburos.

- **Agricultura**

Se está realizando un estudio para identificar el potencial de reducción de metano y generación de energía a partir del estiércol de ganado y en la industria de procesamiento de alimentos.

- **Minas**

Aunque en Colombia no se han gestionado proyectos en este sector a través de la alianza, ya que en el país está empezando con la identificación de actividades de captura de metano en minas de carbono que podrían ser financiadas por la alianza, esto gracias al trabajo conjunto del MAVDT y MME.

### 3.4 PARTICIPACIÓN COLOMBIANA EN EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO

El MAVDT creó el Grupo de Mitigación de Cambio Climático (GMCC) con el objetivo de promover el desarrollo de proyectos MDL de alta calidad en el país. De esta manera, se consolidó una estructura institucional que ha fortalecido el desarrollo de proyectos de mitigación según los lineamientos del Protocolo de Kioto. Hasta diciembre de 2009, las actividades desarrolladas por el GMCC han permitido la consolidación de un portafolio nacional de 144 proyectos. El potencial anual de reducción de emisiones de GEI del total de los proyectos MDL que hacen parte del portafolio nacional es de aproximadamente 16.402.496 t CO<sub>2</sub> eq, reducciones que podrían generar ingresos potenciales al país de unos USD\$ 152.000.000.

De estos 144 proyectos, 49 cuentan con aprobación nacional por solicitud directa de los proponentes, 20 están registrados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (lo que posiciona a Colombia en el quinto lugar de Latinoamérica y decimo quinto del mundo en cuanto al número de proyectos registrados, después de países como Israel, Sudáfrica, Argentina, Ecuador, Costa Rica y Panamá), y 6 de ellos cuentan con Certificado de Reducción de Emisiones (CER). Ver Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Portafolio colombiano de proyectos bajo el MDL

Sector	Número de proyectos en portafolio (%)	Potencial anual de reducción de CO <sub>2</sub> eq. (Ton/año)	Ingresos anuales estimados (USD\$)	No. proyectos con aprobación nacional	No. proyectos registrados ante la CMNUCC	Proyectos con CER emitidos (%)
Residuos	25 (17,36%)	2.443.137	23.851.831	12	6	0
Transporte	12 (8,3%)	1.298.616	12.870.412	4	1	1
Forestal	17 (11,8%)	1.936.672	7.441.914	3	0	0
Industrial	45 (31,25%)	8.202.300	82.023.002	16	7	1
Energético	45 (31,25%)	2.521.771	25.217.706	14	6	4
Total	144	16.402.496	151.404.865 *	49	20	6

Fuente: MAVDT, 2009: Cifras actualizadas hasta diciembre de 2009.

La gestión en el desarrollo y promoción de MDL por parte del GMCC ha incluido actividades como la generación de capacidades a partir de la divulgación y promoción de MDL, tanto en el sector privado como con las autoridades ambientales, así como el diseño e implementación de estrategias de mercado orientadas al logro de una mayor participación colombiana en el mercado internacional de certificados de reducción de emisiones. Otras actividades que apuntan a la obtención de resultados, se derivan de la facilitación de contactos de las empresas colombianas con financiadores y desarrolladores de proyectos MDL, participación y promoción de encuentros para el mercado del carbono en los diferentes sectores.

Los proyectos del MDL además de favorecer la mitigación del cambio climático, contribuyen con el desarrollo sostenible del país generando beneficios ambientales, sociales y económicos adicionales para las comunidades locales en las cuales tienen influencia los proyectos.

En Colombia el MDL ha permitido la instalación de 32.7 MW de capacidad adicional de generación eléctrica con fuentes de energía renovables; otros proyectos MDL aprobados entre el 2005 y 2009 que iniciarán operaciones en los próximos años adicionarán alrededor de 284.8 MW con estas fuentes.

Por otro lado, algunos de los proyectos bajo el MDL aprobados hasta febrero de 2010 destinarán entre un 2% y un 25% de los ingresos recibidos por la venta de los CERs que recibirán durante todo el periodo de acreditación, a inversiones en obras sociales o ambientales de alto impacto, los cuales pueden sumar aproximadamente USD \$8,048,000 (Valor estimado tomando como base el valor de venta de 1 CER= USD\$ 10). Se estima además que gracias a la construcción, puesta en marcha y operación de estos proyectos aprobados, se han generado y se generarán alrededor de 15886 empleos directos e indirectos, dándole prioridad al personal proveniente de comunidades locales para generar mayor impacto positivo en la economía de la región.

Con la implementación de proyectos forestales enmarcados en el MDL, con un potencial de reforestación de alrededor de 189.000 ha, se han generado otro tipo de beneficios adicionales que permiten mejorar la calidad de vida comunidades indígenas y campesinas que han podido mejorar sus ingresos al implementar prácticas de agricultura y ganadería sostenible complementarias a las actividades de reforestación, que a su vez fortalece las organizaciones locales y la construcción de capacidad de las mismas. Otros ejemplos del impacto de este tipo de proyectos en la calidad de vida de los ciudadanos son los proyectos MDL asociados a los Sistemas Integrados de Transporte Público – buses rápidos por carriles exclusivos y tipo cable aéreo – para los cuales se planea construir alrededor de 200 kilómetros de nuevas troncales y 8.1 kilómetros de cables aéreos que pueden contribuir al mejoramiento de la movilidad de aproximadamente 2.8 millones de pasajeros día.

### 3.4.1 Instrumentos financieros asociados con la mitigación de cambio climático

En el ámbito de instrumentos financieros que incentiven la adquisición de tecnologías y equipos que contribuyan a las reducciones de emisiones de GEI, el país, bajo la Ley 788 de 2002, modificó el Estatuto Tributario con el objeto de incentivar la compra e implementación de equipos y tecnologías que demuestren un impacto directo en materia de mitigación.

Dentro de los incentivos diseñados se estableció la exención de renta, por 15 años, a la venta de energía producida a partir de fuentes renovables como la eólica, biomasa o residuos agrícolas (Artículo 18). De tal gestión se pueden beneficiar las empresas generadoras, siempre y cuando se obtengan y se vendan certificados de reducción de GEI y se destine 50% de los recursos obtenidos por este concepto a obras de beneficio social. De otro lado, el artículo 95 establece que la importación de maquinaria y equipos destinados a proyectos que generen certificados de reducción de GEI, estará exenta del impuesto al valor agregado del producto y la prestación de servicios (IVA)<sup>40</sup>.

Tales instrumentos han beneficiado la compra de diferentes equipos tales como unidades generadoras de electricidad, y catalizadores para la reducción de N<sub>2</sub>O, entre otros, y han generado ahorros a las empresas que los adquirieron por un total de mil doscientos millones de pesos, por concepto de exención de IVA.

## 3.5 PRIORIDADES DE MITIGACIÓN DE ACUERDO AL INVENTARIO DE GEI

Las cifras del inventario nacional del Gases Efecto Invernadero (GEI) de los años 2000 y 2004, alcanzan 73,6% de las emisiones totales, derivado de los módulos de energía, agricultura y uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (Uscuss); los módulos de residuos y procesos industriales aportan 26,4% restante. Este patrón de emisiones se presentó de forma similar para los años 1990 y 1994 (Ideam, et al., 2001). En el capítulo correspondiente al inventario de la presente comunicación se realiza un análisis comparativo de los inventarios realizados por Colombia.

Con base en los resultados del inventario, las medidas de mitigación para abordar este comportamiento incluyen entre otros factores: condiciones de competitividad, equidad, desarrollo social y sostenibilidad ambiental del país, en el marco de una evaluación de riesgos derivados del cambio climático. Es decir, se consideran las prioridades nacionales de desarrollo y el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, tal como se ha definido en la CMNUCC. A continuación se presenta un paquete de medidas desde una perspectiva sectorial.

### 3.5.1. Sector pecuario

Esencialmente las prácticas de reducción de emisiones para el sector pecuario se concentran en la ganadería bovina, para lo cual, las alternativas del manejo de la dieta son una de las principales medidas de mitigación del sector para reducir las emisiones debido a la fermentación entérica de los animales.

El mejoramiento de la dieta animal implica un mejoramiento en la calidad de las pasturas, ya que éstas aumentan la productividad animal y optimizan la cantidad de proteína consumida, lo que se refleja en la excreción de nitrógeno y las consecuentes emisiones de  $N_2O$ . De otro lado, la combinación de pasturas mejoradas y la incorporación del componente arbóreo en los modelos de producción pecuaria, pueden aumentar el porcentaje de digestibilidad en el rumen y disminuir la producción de metano. En la práctica, estas actividades deben mejorar la productividad de carne y/o leche, lo cual además de ser beneficioso para el productor, ya que impulsa la competitividad ganadera y se disminuye el periodo de producción, repercutiendo en la edad de sacrificio y en una menor generación de emisiones.

Aunque no existen metodologías aprobadas por la junta ejecutiva del MDL para el desarrollo de proyectos de mitigación asociados con mejoramiento de la dieta de una población bovina que respondan a la disminución de emisiones de metano por fermentación entérica, ésta podría ser una de las líneas de investigación a desarrollar. El propósito es evaluar la efectividad de los diferentes modelos de producción, tomando en cuenta indicadores verificables objetivamente como cantidad de metano emitido por cada litro de leche producido o kg de carne en canal.

### 3.5.2 Sector agrícola y forestal

En el sector agrícola, las medidas prioritarias de mitigación abarcan prioritariamente uso y manejo eficiente de fertilizantes nitrogenados. En el sector forestal, esencialmente se requiere priorizar el manejo de bosques y su rol bajo reducción de emisiones por deforestación y degradación evitada, así como el aumento de biomasa bajo diferentes sistemas productivos.

La reducción del consumo de fertilizantes nitrogenados por hectárea, requiere precisar los niveles de consumo e identificar las épocas de mayor absorción de nitrógeno, evitando pérdidas por lavado y nuevos requerimientos, para disminuir así la dependencia de nitrógeno en la producción agrícola, con las consecuentes emisiones de GEI (Schlesinger, 1999 citado por IPCC, 2007). Entre las prioridades de mitigación del sector, está el cultivo del arroz que representa 27% del área total de los cultivos transitorios del país, y cuyo sistema de producción predominante es intensivo en insumos químicos, mecanización y consumo de agua.

Otras medidas de mitigación se basan en la inoculación de cultivos como la soya<sup>41</sup> con bacterias del género *Rhizobium*, las cuales poseen la habilidad de formar simbiosis con especies leguminosas, vía nódulos que se forman en la raíz de las plantas. Estos nódulos convierten el nitrógeno ( $N_2$ ) gaseoso a amonio ( $NH_4$ ), permitiendo de esta manera que el nitrógeno quede disponible para que lo asimile la planta (fijación biológica de N). De esta forma, se desplaza el consumo de nitrógeno de fertilizantes sintéticos por biofertilizantes, lo que además de evitar las emisiones de  $N_2O$  vía desnitrificación (UNFCCC, 2008), le permite al productor obtener ahorros significativos. Véase el Cuadro 3.2. El proceso de desnitrificación y el Cuadro 3.3 relacionado con los biofertilizantes.

Cuadro 3.2 El proceso de desnitrificación

En la categoría denominada suelos agrícolas, se involucran procesos relacionados con el aporte de fertilizantes nitrogenados, los que pasan a formar parte del ciclo natural del nitrógeno, a través del proceso de desnitrificación; transformación por medio de la cual algunas bacterias anaeróbicas se ven forzadas a usar el oxígeno del ión nitrato para sus necesidades (reducen el  $N_5O_3$  y  $N_3O_2$ ) y devuelven a la atmósfera el nitrógeno como  $N_2$  y  $N_2O$ . Tal proceso rápido y efectivo, significa emisiones o pérdidas en suelos cultivados (lo cual es indeseable en función de la productividad), del orden de 10 a 20% de todos los nitratos formados o añadidos como fertilizantes, llegando a ser entre 40 y 60% del nitrógeno añadido como nitrato.

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

Fuente: Adaptado de Donahue *et. al.*, 1977

Es necesario incorporar a la investigación de biofertilizantes el efecto de los mismos frente a una mayor resistencia y capacidad de adaptación de los cultivos a condiciones más exigentes o factores adversos derivados de un aumento en los valores extremos de temperaturas y condiciones de sequías edafoclimáticas; tal perspectiva deberá ser una alternativa para hacerle frente a la desertificación en zonas deprimidas o afectadas por la pobreza.

41 El cultivo de soya representa alrededor de 1,4% del total de los cultivos transitorios del país.



### Cuadro 3.3 Biofertilizantes y la agricultura

Los microorganismos del suelo son los mejores aliados para lograr un buen crecimiento y nutrición de las plantas, formando una serie de asociaciones simbióticas y no simbióticas para un mejor aprovechamiento de los recursos del suelo. Entre estas asociaciones se encuentran los microorganismos que ayudan con la degradación de la materia orgánica, la fijación del nitrógeno, producción y liberación de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, solubilización de elementos minerales necesarios para la planta y protección frente a fitopatógenos, entre otras ventajas.

De las investigaciones realizadas para reemplazar parte de los fertilizantes nitrogenados, se está implementando el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno, tales como: *Azotobacter* y *Azospirillum*, las que han reducido hasta en 50% el uso de fertilizantes químicos nitrogenados, lo cual representa un ahorro importante para la cadena productiva del arroz.

Asimismo, con el uso de *Azotobacter chroococum*, se reduce el tiempo de germinación de las semillas de algodón, lo que favorece el desarrollo de las plantas debido a la producción de hormonas de crecimiento vegetal, traduciéndose en un aumento de 16% en la productividad del cultivo, con el ahorro en el uso de fertilizantes químicos (Sarmiento, 2006; en la fuente referida).

Cabe destacar que la inoculación de micorrizas no sólo favorece la absorción del fósforo en muchos cultivos sino que, además, mejora la aclimatación (resistencia) de las plantas propagadas en vivero y, posteriormente, trasplantadas a campo, aumentando la tolerancia a condiciones de estrés por nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, sequías y altas temperaturas, así como a problemas de toxicidad de compuestos de aluminio, manganeso y sales, entre otros.

Fuente: Adaptado de Moreno-Sarmiento *et. al.*, 2007

Con respecto a los proyectos forestales de pequeña escala, se tiene el potencial de abrir las oportunidades para incorporar proyectos liderados por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) en materia de protección de nacimientos y márgenes hídricos, los cuales de manera independiente el país ha desarrollado bajo el componente de conservación, mantenimiento y restauración de ecosistemas forestales, del componente reforestación del SINA II.

### 3.5.3 Sector energía

En términos de eficiencia energética y cambio de combustibles, dentro del sector energía es recomendable priorizar la industria manufacturera<sup>42</sup>. El estudio realizado por Cadena *et al.*, (2008) propone diferentes medidas asociadas con estas actividades; en cuanto a la industria de generación eléctrica las medidas de mitigación deben abordarse para las zonas que hacen parte tanto del Sistema Interconectado Nacional (SIN) como las Zonas No Interconectadas (ZNI).

Bajo tal perspectiva, asegurar la demanda a través del aumento en la capacidad de generación proveniente de las plantas hidráulicas es una de las alternativas; sin embargo, para ello se requiere tener en consideración factores limitantes de tipo técnico e impactos socioeconómicos y ambientales. Tales consideraciones deben tenerse en cuenta para las fuentes renovables (UPME & Ideam, 2005), así como la vulnerabilidad del recurso hídrico bajo escenario de cambio climático. No sobra resaltar la significativa participación hidráulica en

el sector energético colombiano con su consecuente baja emisión de GEI, pero potencialmente dependiente de los efectos adversos derivados de los eventos extremos del cambio climático.

En zonas no interconectadas la generación de energía a partir de fuentes renovables es una alternativa que trasciende la satisfacción de la demanda, ya que puede generar empleo y son una herramienta de desarrollo rural, tal es el caso del los proyectos liderados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) para las zonas no interconectadas.

## 3.6 CONCLUSIONES

Con el fin de evaluar los alcances e impactos, así como diagnosticar el estado y limitaciones de las políticas públicas que guardan una relación directa o indirecta con la mitigación, a continuación se presentan las siguientes conclusiones:

- a) Teniendo en cuenta el desarrollo de las acciones de divulgación, tanto nacional como mundial, la percepción y la importancia del deterioro ambiental en los diferentes sectores e instituciones, se puede establecer un avance significativo derivado del impacto de las políticas nacionales del cambio climático que han venido tomando fuerza. No obstante lo anterior, se requiere de un mayor impulso e iniciativas coordinadas entre las instituciones, con el objetivo de valorar y monitorear de manera integral, el efecto de las políticas sobre la solución de los problemas sociales, económicos y ambientales.
- b) Las medidas de mitigación del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, y las propuestas en el Proyecto Visión Colombia II Centenario 2019, proponen medidas para superar las barreras asociadas con el desarrollo de programas de reducción de emisiones. Con tal enfoque, se logra una mayor participación nacional en el mercado de carbono y se consolida una visión compartida con los objetivos de desarrollo sostenible del país.

- c) El principal reto que afrontan los planes y programas descritos se fundamenta en lograr el fortalecimiento de la capacidad institucional y la generación de sinergias con el sector privado para avanzar en la implementación de la política ambiental.
- d) Otro reto importante es la inclusión y armonización de los programas de mitigación con la agenda de trabajo del país en materia de desarrollo sostenible, a través de la plataforma institucional del SINA, exigiendo la articulación y coordinación entre sus entidades. Con este fin, se requiere financiamiento externo a las entidades y esfuerzos presupuestales propios para la inclusión del tema de cambio climático<sup>43</sup> en las herramientas de planeación territorial y en los planes de acción trienal de las CAR<sup>44</sup>.
- e) Las principales estrategias que se han desarrollado en materia de mitigación, responden principalmente a las oportunidades económicas derivadas de los mecanismos de flexibilidad, en el marco del cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de los países Anexo I, según el Protocolo de Kioto para su primer período de compromiso, es decir, al desarrollo de proyectos con el MDL.
- f) Algunas de las actividades de reducción de emisiones a nivel nacional, obedecen a un incentivo económico, más que a la génesis misma del problema ambiental que representa el aumento en la concentración de GEI en la atmósfera. No obstante, se vienen realizando acciones que presentan cobeneficios en materia de mitigación de GEI y que van orientadas con el desarrollo del país.
- g) Si bien las emisiones de GEI per cápita de Colombia reflejan una gestión destacada frente a Latinoamérica y el mundo, se deben buscar mecanismos que incentiven y/o faciliten proyectar a largo plazo una producción carbonoeiciente que no afecte negativamente la base natural, en especial sus ecosistemas estratégicos. Existe una gran presión sobre las áreas de reserva forestal donde grandes extensiones se pueden convertir en tierras de pastoreo improductivas por falta de alternativas de utilización sostenibles. Las comunidades que habitan o dependen de dichas tierras, no reciben ninguna opción de vida a cambio de mantener invaluable bienes y servicios para una sociedad que no valora la importancia de reducir emisiones de GEI en sus procesos productivos y sus actividades de consumo.
- h) Colombia hace parte de las naciones tropicales que tienen grandes superficies forestales que sirven actualmente como excelentes reservorios de carbono. A través de una política integrada del cambio climático con la protección y recuperación de áreas con vocación forestal, Colombia puede desempeñar un papel fundamental en el contexto regional. El diseño de esta política de mitigación debe partir de un análisis integrado en función de las poblaciones más vulnerables y en riesgo por la degradación de sus tierras, con la opción de verse efectivamente involucradas en un desarrollo rural sostenible.
- i) Según el inventario, existe un campo de acción importante en Colombia para la implementación de acciones que podrían permitir mitigar simultáneamente los efectos del cambio climático, a la vez que se logra una mayor eficiencia de los sistemas de producción. Ejemplos de tales iniciativas se relacionan con:
- El mejoramiento de la eficiencia energética (mejorando combustibles, ajustando las emisiones industriales, impulsando proyectos de fuentes renovables energéticas, etc.).
  - La conservación y restauración de la base natural que facilita la estabilidad ecológica y ambiental para el suministro de bienes y servicios ambientales (con manejo sostenible de cuencas, programas de conservación de reservas y zonas de protección forestal, impulso a los programas de conservación de área protegidas, entre otras).
  - Delimitación de zonas protegidas y determinación clara de formas y métodos en que las industrias extractivas pueden desarrollar sus proyectos sin afectar ecosistemas estratégicos (como páramos, humedales y áreas de disipación de crecientes, zonas de recarga de acuíferos, arrecifes, manglares, entre otros). No obstante, dichas acciones requieren articulación institucional, recursos financieros y tecnológicos adicionales y vinculación permanente de los sectores públicos y privados.

### 3.7 RECOMENDACIONES

Es necesario desarrollar estudios<sup>45</sup> potenciales de mitigación en diferentes sectores que permitan identificar la línea base de emisiones y diferentes opciones de mitigación económica, tecnológica y ambientalmente viables las cuales

43 1) Evaluación de vulnerabilidad a nivel local y formulación participativa de medidas de adaptación. 2) Actividades prioritarias de reducción de emisiones GEI con impactos positivos a nivel socio-económico, biodiversidad, conservación y manejo de recursos naturales, gestión hídrica y forestal.

44 De hecho, según la Procuraduría General de la Nación, la gran mayoría de las autoridades ambientales reportó haber realizado proyectos que tienen impacto directo en el cambio climático, pero no fueron concebidas como respuesta ante el reto que exige a nivel regional esta problemática ambiental. Observándose que, en su mayoría, las necesidades que motivaron esos proyectos no obedecieron a la ejecución propia de un plan que aborde el cambio climático en sus jurisdicciones.

45 Dentro de las principales limitaciones para el desarrollo de este documento, se destacan la ausencia de estudios anteriores a la elaboración de esta Comunicación Nacional que permitieran evaluar técnica y económicamente las diferentes opciones y tecnologías de mitigación a nivel sectorial. Con este tipo de investigaciones se podría generar y reportar información valiosa, en términos cuantitativos, del potencial de reducciones de emisiones por tipo de actividad, así como en materia de costo/efectividad y su relación con la competitividad sectorial.

deben contar con criterios de eficiencia y maximización de beneficios. Para este fin se requiere contar con los recursos financieros que posibiliten estas acciones, recursos de los cuales no dispone el país por lo que se deben desarrollar mecanismos de cofinanciación para su implementación.

De acuerdo con los resultados del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los años 2000 y 2004 y como producto de la consulta de las mesas de trabajo, se deben priorizar los siguientes ejes o áreas de acción:

- a) En relación con la generación de energía, es indispensable prever las afectaciones del recurso hídrico y, por lo tanto, del sector hidroenergético, por los factores del cambio climático y las medidas de adaptación al respecto, para evitar consecuencias en términos de emisiones de GEI por la implementación de fuentes energéticas contaminantes, así como también para evitar graves afectaciones en la disponibilidad de energía (teniendo en cuenta que la matriz energética del país es de carácter hidráulico, con más de 64%).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante investigar la vulnerabilidad del recurso hídrico y su disponibilidad bajo escenarios de cambio climático, incluyendo un análisis sobre la función de regulación que efectúan las coberturas vegetales naturales en el ciclo hidrológico en las diferentes cuencas abastecedoras de los embalses, permitiendo así validar e incorporar medidas de conservación y restauración de estas coberturas como respuesta ante el cambio climático y al fortalecimiento de la oferta hídrica. Además, es vital la integración de medidas de adaptación priorizando sectores que dependen de esta oferta, tal es el caso del sector energético arriba mencionado, el agrícola, y el de servicios públicos (acueductos). Con respecto a este tipo de medidas, en el capítulo de Vulnerabilidad y Adaptación se ampliará esta información.

- b) Eficiencia energética para el sector manufacturero, cambio de combustibles y generación eléctrica para las Zonas No Interconectadas con energías renovables no convencionales.
- c) Estimación y proyección de las remociones y emisiones procedentes de las actuales áreas reforestadas en el país, incluyendo aquellas de carácter comercial y protectora.
- d) Manejo sostenible de bosques, así como en el aumento de biomasa bajo diferentes sistemas productivos.
- e) Bajo escenarios prospectivos identificar las zonas con mayor tendencia a la deforestación, para evitar la misma y estimar las reservas de carbono para diferentes tipos de bosque, especialmente tropical y alto andino. Esto deberá incluir el impacto socioeconómico al implementar proyectos de deforestación evitada sobre las comunidades rurales y el grado de contribución con la reducción de pobreza, lo cual respondería a las directrices planteadas bajo el plan de acción de Bali (Decisión COP/MOP 3).
- f) Tecnologías de producción, asociadas con el uso eficiente del nitrógeno como fertilizante, con el objeto de reducir las pérdidas de éste y disminuir el uso excesivo de insumos que generan emisiones de  $N_2O$  en el sistema suelo-planta.
- g) Asimismo, investigación sobre el uso de biofertilizantes para contribuir a la reducción de emisiones de  $N_2O$  vía desnitrificación por el empleo de fertilizantes sintéticos y, a la vez, disminuir la vulnerabilidad de las comunidades pobres y/o afectadas por procesos de degradación de tierras o desertificación.
- h) Opciones de manejo de ganadería bovina a nivel de pequeños, medianos y grandes productores, en las cuales se identifiquen tecnologías costo efectivas para mejorar la dieta animal, la productividad y el aumento de la capacidad de carga, con el fin de reducir emisiones de GEI. Dentro de esto, cabe investigar la implementación de sistemas silvopastoriles complementarios ya que los proyectos ejecutados han demostrado resultados exitosos con respecto al tema de mitigación al cambio climático.

Las anteriores áreas de acción se pueden desarrollar dentro de un programa voluntario de mitigación de carácter gremial que contemple el fortalecimiento de la generación de información estadística que permita el cálculo del Inventario de GEI con factores propios para el país para obtener resultados más precisos. Además de la identificación de actividades de reducción de emisiones asociadas con la competitividad, que conlleven al desarrollo de oportunidades de negocio enfocado en el mercado del carbono por reducción de emisiones.

Es prioritario avanzar en acciones de mitigación apoyadas por los agentes económicos y la sociedad en general, que permitan cuantificar los costos de transformación de las tecnologías de producción, de la cultura del consumo y del manejo total del ciclo de vida de los productos. Con tales bases de información, se deberían diseñar medidas de mitigación costoefectivas para los diferentes sectores. Esta recomendación requiere de un análisis previo de las iniciativas voluntarias de reducción de emisiones en el país, que no se encuentren en el marco del Protocolo de Kioto.

Es importante contar con los recursos financieros para realizar un seguimiento del posible aporte al desarrollo sostenible que se obtenga por la implementación de las medidas de mitigación previstas en los diferentes instrumentos de política, lo cual permitirá evaluar objetivamente la real integración y correspondencia mutua entre mitigación y desarrollo en el país. Adicionalmente, es necesario tener en cuenta que el desarrollo de un proceso de monitoreo requiere del fortalecimiento y desarrollo de las instituciones con la capacidad y la competencia acorde con el sector y procesos productivos involucrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Academia Colombiana de Ciencias Exactas Física y Naturales [ACCEFYN]. (2000). Opciones para la reducción de emisiones de GEI para Colombia 1998-2010. Bogotá: Autor. p. 184.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2006). Plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos. Bogotá: Autor. p. 319.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI]. (2009). Informe Encuesta de Opinión Industrial Conjunta. Octubre de 2009. Centro de Estudios Económicos.
- Banco Mundial. 2008. Implementation completion report and results for the Integrated Silvopastoral Approaches to Ecosystem Management Project.
- Buitrago, C., Burgos, Moreno, J. & Nieves, H. (2005). Evaluación de los niveles de remoción de dióxido de carbono efectuado por las plantaciones de caucho, *Hevea brasiliensis*. Mull Arg. Trabajo de grado sin publicar para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Distrital FJDC. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá: Autores. p. 151.
- Cadena, A. D. (2008). Colombia: Diagnóstico, perspectivas y lineamientos para definir estrategias posibles ante el cambio climático. (Emgesa, Ed.) Bogotá: Emgesa.
- Cadena, A., Delgado, R., Duque, A., Espinosa, M., Espinosa, M. & Marcucci, A. (2008). Diagnóstico, perspectivas y lineamientos para definir estrategias posibles ante el Cambio Climático. Emgesa, Codensa, Universidad de los Andes. Bogotá: Autores. p. 266.
- Climate Action Network [CAN]. (2007). Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD). p. 12. Recuperado en Julio de 2008, de : [www.climateactionnetwork.org/climate-change-basics/by-meeting/cop-13-bali-december-2007/CANREDDpositionFINAL5Dec.doc/view](http://www.climateactionnetwork.org/climate-change-basics/by-meeting/cop-13-bali-december-2007/CANREDDpositionFINAL5Dec.doc/view)
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC]. (2007). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 13º periodo de sesiones, celebrado en Bali del 3 al 15 de diciembre de 2007. Adición Segunda parte: Medidas adoptadas por la Conferencia de las Partes en su 13º periodo de sesiones. p. 61.
- Del Valle, J. I., Orrego, S. A., Moreno, F. H. & Black, T. (2003). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), Caema. p. 314.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (1991). Programa para la masificación del gas. Documento Conpes 2571. Bogotá: DNP. p. 23.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (1993). Plan de Gas. Documento Conpes 2646. Bogotá: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (1996). Política de Bosques. Documento Conpes 2834. Bogotá: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2002). Política para mejorar el servicio de transporte público. (DNP, Ed.) Bogotá: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2003). Plan Nacional de Desarrollo 2002-2006 Hacia un Estado comunitario. Bogotá: Autor. p. 284



- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2003a). Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático. Documento Conpes 3242. Bogotá: Autor. p. 36.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2005). Política nacional de transporte urbano y masivo-seguimiento. Documento Conpes 3368. Bogotá: Autor. p. 21.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2007). Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 Estado Comunitario: Desarrollo para todos. Bogotá: Autor. p. 612.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2007a). Visión Colombia II Centenario: 2019. Consolidar una gestión ambiental que promueva el desarrollo sostenible. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá: Autor. p. 140.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2008). Boletín informativo Hoy en planeación. Aprobada estrategia para fortalecer servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos. Bogotá. Junio 23 de 2008.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2009). Programa Visión Colombia 2019. Recuperado en noviembre de 2009, de: <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/PolíticasdeEstado/VisiónColombia2019/tabid/92/Default.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (1998). Plan Estratégico para la Restauración y el Establecimiento de Bosques en Colombia, Plan Verde. Bogotá: Autores.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP] & Ministerio del Medio Ambiente [MMA] (2002). Lineamientos de política de cambio climático. Bogotá: Autores. p. 36.
- Departamento Nacional de Planeación [DNP], Ministerio del Medio Ambiente [MMA], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Ministerio de Desarrollo. (2000). Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Bogotá: Autores. p. 76.
- Donahue, R.L., Miller, R.W. y Shickluma, J.C. (1977). Introducción a los suelos y el crecimiento de las plantas. Prentice Hall International, Madrid, España. p. 130.
- Estudios y Técnicas Especializadas en Ingeniería [ETEISA]. (2006). Construcción de capacidad para conformar un portafolio de proyectos MDL de recuperación de metano en rellenos sanitarios de Colombia. Bogotá: Autor. p. 169.
- Federación Nacional de Ganaderos de Colombia [Fedegan]. (s.f.). Manual práctico del ganadero. Cap. 6. Establecimiento y manejo de praderas. Recuperado en noviembre de 2009, de: [http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/FNG\\_PORTLETS/PUBLICACIONES/MANUALGANADERO/CAP%20TULO%206.PDF](http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/FNG_PORTLETS/PUBLICACIONES/MANUALGANADERO/CAP%20TULO%206.PDF). p. 73 a 108.
- Federación Nacional de Ganaderos de Colombia [Fedegan]. (2006). Plan Estratégico de la Ganadería Colombia. Bogotá: Fedegan. p. 296.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (1997). Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (IPCC). p. 140.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, part 1.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007). Cambio climático 2007: Base de ciencia física. Contribución del Grupo I de trabajo al cuarto informe de evaluación del IPCC. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Ayeryt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2007a). Fourth Assessment Report, Working Group III. Climate Change Mitigation.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2008). Impacto ambiental y social relacionado con la generación y uso de los biocombustibles en Colombia. Informe final de actividades contrato de prestación de servicios profesionales N° 024/2008. Bogotá: Autor. p. 181.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Ministerio de Medio Ambiente [MMA] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2001). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Inventario Nacional de GEI 1990 y 1994. Trade Link Ltda. Bogotá: Autores. p. 221.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2009). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000 y 2004. Scripto Ltda. Bogotá: Autores. p. 172. 342.

- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. [IPSE]. (2005). Plan de acción del IPSE para proyectos piloto de uso racional y eficiente de la energía URE en las ZNI: organización y desarrollo.
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. [IPSE]. (2008). Presentación Oficial. Bogotá: IPSE. p. 83.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2003). Atlas de Colombia. (Ilgac, Ed.) Bogotá: IGAC.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2003). Manejo Social del Campo 2002-2006. Bogotá: Autor.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2006). Reactivación Agropecuaria y Mayor Bienestar en el Campo 2006 - 2010. Bogotá: Autor.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2008). Documentos Internos de trabajo MADR, sin publicar.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2008). Oficina de prensa MAVDT: 5 de septiembre de 2008 y 27 de octubre de 2008. Bogotá: Autor.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2009). Página web del Grupo de Mitigación al Cambio Climático del MAVDT. Recuperado en septiembre de 2009, de: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=4085&catID=908>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] y Ministerio de Transporte (2003). Estrategia para la implementación del mecanismo de desarrollo limpio en el sector transporte. Bogotá: Autores. p.13.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2005). Áreas indicativas para la implementación de proyectos forestales MDL en Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT] & Ministerio de Transporte. (2007). Agenda Ambiental Interministerial. Bogotá: Autores. p. 7.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico [RAS 2000]. Bogotá: Autor. p. 227.
- Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (1998). Política nacional de residuos sólidos, plan de acción. Bogotá: Autor.
- Ministerio del Medio Ambiente [MMA] & Banco Mundial. (2000). Estudio de Estrategia Nacional para la implementación del MDL en Colombia. Bogotá: Autores. p. 238.
- Ministerio de Minas y Energía [MME]. (2001). Ley 697 de 2001.
- Ministerio de Minas y Energía [MME]. (2003). Decreto 3683 de 2003.
- Ministerio de Minas y Energía [MME]. (2006). Relación de vehículos convertidos a gas natural comprimido vehicular, total país consolidado a 30 de diciembre de 2006.
- Ministerio de Minas y Energía [MME]. (2008). Relación de vehículos convertidos a gas natural comprimido vehicular, total país consolidado a 30 de noviembre de 2008.
- Ministerio de Minas y Energía [MME] & Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2002). Gas Natural Vehicular una Alternativa para la Movilidad Limpia. Bogotá: Autores. p.15.
- Ministerio de Minas y Energía [MME] & Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2006). Plan Energético Nacional 2006-2025. Bogotá: Autores. p. 238.
- Moreno-Sarmiento, N., Moreno-Rodríguez, L. F. & Uribe-Vélez D. (2007). Biofertilizantes para la agricultura en Colombia. Cap. 5. En: Biofertilizantes en Iberoamérica: Una visión técnica, científica y empresarial. Izaquirre-Mayoral, M., Labandera, C. & Sanjuan, C- [Eds]. Montevideo, Uruguay: Ministerio de Ganadería, agricultura y pesca del Uruguay, Biofag, Cyted, Biocultivos & Lage y Cia. S.A. p. 38-45.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito [ONUCDD] & Acción Social. (2007). Informe ejecutivo sobre el seguimiento a los programas de familias guardabosques y proyectos productivos. Monitoreo, seguimiento y evaluación al desarrollo alternativo en Colombia. Bogotá: Autores. p. 31.
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito [ONUCDD] & Acción Social. (2007a). Sembramos y ahora recogemos. Somos familias guardabosques. Bogotá: Autor. p. 280.

- Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M. & Mardas, N. (2009). *The Little REDD+ Book An updated guide to governmental and non-governmental proposals for reducing emissions from deforestation and degradation*. Global Canopy Foundation, Oxford, UK.
- Sistema de Gestión y Seguimiento a las Metas del Gobierno [SIGOB]. (2008). Recuperado en noviembre de 2008, de: <https://www.sigob.gov.co/pnd/inst.aspx>
- Sistema Único de Información de Servicios Públicos [SUI]. (2008). Programa: Municipios con asistencia técnica para la formulación y desarrollo de los planes de gestión integral de residuos sólidos. Recuperado en octubre de 2008, de: <https://www.sui.gov.co/SUIWeb/logon.jsp>.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD]. (2006). *Estudio sectorial aseo 2002- 2005*. Bogotá: SSPD.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD]. (2007). *Informe anual de los servicios públicos en Colombia 2006*. Bogotá: SSPD.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD]. (2008). *Informe anual de los servicios públicos en Colombia 2007*. Bogotá: SSPD.
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2002). *Programa colombiano de normalización, acreditación, certificación y etiquetado de equipos de uso final de energía*. (Documento borrador) Bogotá: UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2008). *Proyectos de uso racional de energía, presentación oficial*. Subdirección de planeamiento energético. Bogotá: Los autores. p. 60.
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2008a). *Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2009-2023*. Recuperado en noviembre de 2009, de: [http://www.upme.gov.co/Docs/Plan\\_Expansion/2009/Plan%20de%20Expansion%202009-2023.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2009/Plan%20de%20Expansion%202009-2023.pdf)
- Unidad de Planeación Minero Energética e Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia*. Bogotá: Autores. p. 175.
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME] e Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2006). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. Bogotá: Autores. p. 169.
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (1992). *Texto de la Convención*. UNFCC. p. 33.
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. p. 23.
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC]. (2003). *Reporting on climate change user manual for the guidelines on national communications from non-annex I parties*. p. 31.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. [UNFCCC]. (2005). *Decision 6/CMP.1 Simplified modalities and procedures for small-scale afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism in the first commitment period of the Kyoto Protocol and measures to facilitate their implementation*. p. 13.
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre [UNEP - WCMC]. (2007). *Reducing emissions from deforestation: global mechanisms, conservation and livelihoods*.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. [UNFCCC]. (2008). *Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories.III.A./Version 01.Sectoral scope:15. EB 39*. p. 10.
- United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC] & Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice [SBSTA]. (2006). *Issues relating to reducing emissions from deforestation in developing countries and recommendations on any further process*. 122 pp. Recuperado en julio de 2008, de: [www.unfccc.int/methods\\_and\\_science/lulucf](http://www.unfccc.int/methods_and_science/lulucf).