

## EL CAMBIO CLIMATICO, EL CARBONO Y LOS BOSQUES

Luz Amalia Forero<sup>1</sup>

Hector Ramiro Ordoñez<sup>1</sup>

Fredy Alberto Forero<sup>2</sup>

### INTRODUCCION

Durante las dos décadas pasadas se ha expresado la preocupación de que el impacto actual de las actividades humanas en nuestro ambiente podría ser lo suficientemente grande como para producir cambios climáticos que a su vez, tendrían repercusión en la agricultura y demás actividades que realiza el hombre en el planeta.

Nuestro planeta está rodeado por una atmósfera gaseosa formada por un 78.09% de Nitrógeno, un 20.45% de oxígeno, 0.93% de Argón, 0.032% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 0.0018% de Neón y 0.4962% de otros gases como Helio, Metano, Kriptón, Oxido de Nitrógeno, Hidrógeno y Xenón. Estos porcentajes se refieren a una atmósfera limpia. Una parte variable del aire atmosférico, según las condiciones climatológicas, está formada por vapor de agua, el cual oscila entre un 0 y un 7% (Ondarza, 1997 y Letayf y González, 1996).

<sup>1</sup> Profesores Auxiliares. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal.

Una de las preocupaciones a escala mundial es el incremento de las contracciones en la atmósfera de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), oxido nítrico (NO) y los compuestos fluorocarbonados; de los anteriores el de mayor volumen relativo es el CO<sub>2</sub> y el de mayor poder de retención de calor es el NO. Estos gases son los responsables del efecto de invernadero, que ha producido el cambio climático en el planeta. El incremento de estos gases se debe principalmente a la industria, al transporte y la destrucción de los bosques durante el cambio en el uso de la tierra, que ha aumentado en gran medida a partir de la revolución industrial (hace 200 años aproximadamente) (Eduarte y Segura, 1998; Medina y Mena, 1998).

El aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> se constituye en un verdadero problema ecológico ya que los gases se dispersan sobre toda la atmosfera en lugar de concentrarse alrededor de su lugar de emisión, ocasionando un calentamiento global que se manifiesta en todos los lugares de la tierra.

La población empezó a ejecutar acciones para detener este proceso mediante convenciones mundiales donde se acordaron programas y obligaciones para que los países industrializados disminuyan las emisiones de los gases del efecto invernadero. Dentro de tales convenciones, el protocolo de Kyoto es la más importante.

Las acciones encaminadas a regular y controlar el nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera están dirigidas hacia la disminución del uso de energía de combustibles fósiles, a la reducción de la destrucción de los bosques, ya sea por incendios forestales o por cambio de uso de la tierra y a la captación (fijación) de CO<sub>2</sub> de la atmósfera por parte de las plantas mediante el proceso fotosintético.

## Calentamiento de la tierra (cambio climático)

El efecto invernadero es un fenómeno físico común a otros planetas y satélites del sistema solar, como Venus, Marte y Titán (satélite de Saturno), cuya temperatura superficial es superior a la que correspondería de conformidad con la radiación solar incidente que reciben (oceano, 1995).

El problema del efecto invernadero aparece sólo cuando gases comunes en la atmósfera, como el dióxido de carbono, el metano y los óxidos de nitrógeno elevan su concentración más allá de los límites de tolerancia. La actual concentración de CO<sub>2</sub> es 30% mayor que su nivel al inicio de la revolución industrial y continua aumentando a razón de 0.5% anualmente (Chacón, 1998).

Es una realidad que en el futuro se presente un calentamiento de la atmósfera por aumento en la concentración de gases del efecto invernadero, pero no existe consenso en cuanto a su magnitud. Se sabe que el contenido de CO<sub>2</sub> de la atmósfera pasó de 180 ppm (partes por millón) en el periodo glacial, a 280 ppm al finalizar las glaciaciones, aumentando la temperatura unos 4°C. Las mediciones realizadas prueban que la concentración de CO<sub>2</sub> ha pasado de 270 ppm antes de la era industrial a 350 ppm en la actualidad y la de metano se ha doblado de 0.8 a 1.7 ppm (nasa, 1999; oceano, 1995).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC) concluyó que las crecientes concentraciones atmosféricas de los principales gases del efecto invernadero podrían producir un aumento en las temperaturas mundiales y otros cambios en el medio ambiente del mundo; indican que se puede producir un aumento de 1°C a 3.5°C en las temperaturas medias mundiales para el año 2100, superior a las variaciones totales de temperaturas registradas en el mundo en los últimos 10.000 años (Makundi y Otros, 1998).

## Causas del efecto invernadero

La primera causa del efecto invernadero es el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, ocasionado principalmente por el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas); se estima que cada año, 6 mil millones de toneladas de carbono son emitidas a la atmósfera (Medina y Mena, 1999).

El 95% de las emisiones industriales se originan en el hemisferio Norte, el cual está dominado por los países industrializados. Los datos de emisiones para los años 1990 - 1995 se consignan en la Tabla 1.

Otra causa es el cambio de uso de la tierra, principalmente la destrucción de los bosques, con el fin de implementar actividades agrícolas y pecuarias. Cada año una superficie de 16 millones de hectáreas es deforestada, emitiendo 1.8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Medina y Mena, 1999).

Cuando se destruyen los bosques, el carbono almacenado se libera a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, poniendo de manifiesto la incidencia de las prácticas forestales en el cambio climático. Además se debe también considerar los efectos que sobre los ecosistemas forestales, componentes como la flora y fauna, pueden causar tales cambios.

Según las investigaciones, el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> es causado en un 80% por el uso de combustibles fósiles y en un 20% por la deforestación (Manso 1998).

## Preocupaciones y medidas de interes mundial para mitigar el problema

La inestabilización del sistema climático es una amenaza para los habitantes del planeta. Esta razón motivó a la comunidad internacional a firmar en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas

sobre el cambio climático, con el objetivo de “estabilizar las concentraciones de gases con efecto invernadero en la atmósfera hasta un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático” (Ramírez, 1998).

Posteriormente representantes de más de 160 naciones y numerosas organizaciones no gubernamentales se reunieron en 1997 en Kyoto (Japón) y Buenos Aires en 1998, con el fin de discutir los medios de estabilizar los efectos de las actividades antrópicas sobre el clima. Estos eventos coincidieron con la temporada más activa del fenómeno del “Niño”, cuyos efectos originaron cambios en los patrones climáticos, perjudiciales para unas regiones y benéficos para otras.

Para evitar un cambio posiblemente muy grave del clima mundial se tiene que disminuir o al menos estabilizar la concentración de los gases del efecto invernadero. Se estima que las emisiones antropogénicas actuales de CO<sub>2</sub> equivalen a unos 7.100 millones de toneladas por año, de las cuales 2.000 millones son absorbidas por las superficies marinas y 1.800 millones por las superficies terrestres. Las sobrantes 3.300 millones de toneladas, que no son capturadas, se van añadiendo a los tantos otros millones de toneladas emitidas en exceso en años anteriores. Es sobre estos excesos que se deben implementar las acciones de reducción o captación de manera inmediata (Rivas, 1998).

Las medidas posibles para mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero, particularmente el CO<sub>2</sub>, incluyen la reducción de emisiones en las fuentes con medidas tales como: conservación de energía y mejoramiento de la eficiencia energética, sustitución de combustibles, uso de energía renovable, uso de energía nuclear, mejoramiento de los sistemas de transporte o la captura y disposición apropiada del CO<sub>2</sub> o el Metano producido en ciertos procesos. Así mismo se contempla el incremento de las plantaciones forestales que actúan como sumideros (Ramírez, 1998).

## Protocolo de Kyoto

En la Convención de Kyoto se reunieron los países industrializados o con economías en transición con el fin de dar culminación al proceso iniciado años anteriores y establecer un compromiso vinculante de reducción de emisiones entre la comunidad internacional y las partes de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático; en este evento se comprometieron para el año 2000 a reducir sus emisiones de gases del efecto invernadero al nivel existente en 1990.

Igualmente se concluyó que la opción más económica para fijar carbono son los sistemas forestales. Previendo las dificultades que tendrán algunos países para cumplir sus obligaciones, el Protocolo estableció flexibilidad para que los países cumplan con sus obligaciones mediante tres instrumentos:

- Implementación conjunta entre países
- El mecanismo de desarrollo limpio
- El comercio de permisos de emisión entre los países (Medina y Mena, 1999).

## Disminución y compensación de las emisiones

Junto a la disminución de las emisiones de los países industrializados se acordaron otras herramientas para compensar las emisiones mediante proyectos en otros países; la reforestación u otras prácticas de restauración de la vegetación son una de las posibilidades para fijar CO<sub>2</sub> de la atmósfera; esta práctica en donde intervienen varios países es denominada “implementación conjunta”.

Según Medina y Mena (1999), existen dos maneras de captar CO<sub>2</sub>: una de tipo técnica y la otra ecológica. La compensación técnica significa la captación de gases de la atmósfera y su depósito permanente; por ejemplo a través de la congelación del aire a -37°C, temperatura a la cual el CO<sub>2</sub> se vuelve líquido y

puede ser depositado en capas subterráneas, pero los costos son muy altos y no parece ser una alternativa muy atractiva. La compensación ecológica, se basa en los organismos que realizan fotosíntesis, que como las plantas superiores captan  $\text{CO}_2$  del aire, fijan el carbono en sus tejidos y liberan el oxígeno. Al establecer vegetación se capta  $\text{CO}_2$ . Los ecosistemas más importantes para este proceso son las turbas, los bosques y los corales.

### Fijación de carbono

Los bosques además de cumplir una gama de funciones ambientales, y ser uno de los precursores de la reserva genética de la tierra, son importantes en el ciclo global del carbono, ya que almacenan grandes cantidades de carbono atmosférico en la vegetación y en el suelo e intercambian dicho elemento con la atmósfera en los procesos de fotosíntesis y respiración. Sin embargo son fuentes de carbono cuando sufren alteraciones antrópicas como la deforestación y los incendios forestales (Manoso, 1998).

Ya que la deforestación es una de las causas del incremento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, la reforestación podría ser una medida para disminuir este incremento. Se estima que hay cerca de 100 millones de hectáreas a escala mundial para reforestación donde se podrían capturar de 1 a 2 mil millones de toneladas de carbono por año (Medina y Mena, 1999).

**Bosques primarios.** Tienden a tener una biomasa grande almacenada. Sin embargo, no hay una acumulación neta de carbono, pues la muerte y el crecimiento del ecosistema están esencialmente en equilibrio. En este caso su importancia radica en el carbono que se encuentra almacenado y es susceptible de ser liberado a la atmósfera durante el proceso de deforestación. Pearce (1990), menciona que 100 toneladas de carbono son liberadas por una hectárea de bosque tropical deforestada.

Según el periódico El Comercio (1999), la captación de carbono se produce solo en bosques en crecimiento; en un bosque maduro la emisión de  $\text{CO}_2$  es igual a lo que captura. El promedio de crecimiento en los bosques andinos es de 80 años, luego de este tiempo la fijación del carbono se produce en el suelo; las hojas y restos de corteza de troncos al caer al suelo se transforman en humus que es rico en carbono.

**Bosques secundarios.** El carbono atmosférico fijado se acumula en forma de biomasa durante el proceso de regeneración natural. La cantidad de carbono fijado depende de la edad de los bosques secundarios y aumenta hasta llegar a su máximo aproximadamente en un tercio del ciclo (edad), o sea a los 25 años. Tosí (1995), manifiesta que la cantidad de carbono fijado por hectárea, según la zona de vida, varía desde 3,8 hasta 16,7 toneladas.

Los bosques en el trópico fijan entre 10 y 15 toneladas por hectárea año. Durante su proceso de crecimiento capturan  $\text{CO}_2$  y lo transforman en carbono sólido que entra en la composición de las hojas y troncos.

**Paramos.** Los páramos son inmensos colchones de carbono. Comparado con el bosque húmedo tropical (bh-T), las tierras altas almacenan 4 veces más  $\text{CO}_2$ . Los suelos tropicales guardan aproximadamente 250 toneladas de carbono por hectárea, mientras que en los páramos esta cantidad asciende a 1.000 toneladas por hectárea (El Comercio, 1999).

### La biomasa, un sustituto energético

La biomasa renovable cultivada es un combustible neutro en cuanto a emisiones de  $\text{CO}_2$  con un bajo contenido de ácido sulfúrico que puede convertirse en electricidad, calor y combustibles líquidos o gaseosos. La biomasa tiene muchas ventajas para asegurar un futuro favorable al medio ambiente. A fin de obtener el máximo beneficio, se deberían utilizar los árboles que no sean de bosques primarios para la producción de energía, ya que una vez los árboles

o plantas alcanzan la madurez, comienzan a perder el carbono almacenado (Hall, 1998).

### **Venta de servicios ambientales**

El único modelo piloto de mercado de servicios ambientales funciona en Costa Rica. En 1997 recibieron 14 millones de dólares por los servicios de 97 mil hectáreas de bosques. En el Ecuador el proyecto PROFAFOR, invirtió 3 millones de dólares en la reforestación de 17 mil hectáreas con pinos en la sierra, con el auspicio de la fundación FACE de Holanda. Precisamente FACE, ejecuta una labor similar en 150 mil hectáreas alrededor del mundo. Es decir, este país reduce el carbono plantando bosques en naciones en vías de desarrollo (Medina y Mena, 1999).

En la convención de Kyoto, se formularon mecanismos de desarrollo limpio. Así, los países industrializados se comprometieron a reducir el carbono con fondos y asistencia técnica, a tasas proyectadas para el 2035, que aparecen en la Tabla 2.

Hasta el momento, EEUU es la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, China liderará la cantidad de emisiones del compuesto en los próximos 30 años.

Según Ramírez (1998), Costa Rica había puesto en el mercado internacional hasta 1998, certificados transferibles de carbono como un esfuerzo para iniciar un mercado internacional de éste elemento, ofreciendo 3,5 millones de éstos a un precio de US\$14 y US\$15 la tonelada.

La Bolsa de Futuros de Sidney considera que el mercado australiano de créditos de carbono podría ascender a un valor de hasta 5.000 millones de dólares estadounidenses.

Este mercado podría servir de precursor de un mercado mundial de comercialización de emisiones, que algunos analistas han valuado en 700.000 millones de dólares estadounidenses. En este mismo contexto, la Compañía Eléctrica de Tokio firmó recientemente un acuerdo con una entidad forestal Australiana para plantar 1.000 hectáreas en el año 2000 y hasta 40.000 hectáreas en la próxima década a fin de ayudar a contrarrestar sus emisiones de gases de efecto invernadero (Sarre, 1999).

### **Repercusiones para los productos de madera**

Asumadu (1998), asegura que muchos países productores de madera tropical, como es el caso de Colombia, reúnen las condiciones que les permitirá atraer inversiones internacionales para el desarrollo planificado de plantaciones, dentro de los mecanismos para el desarrollo limpio. Es un sistema por el cual un país industrializado emisor de carbono paga a otro en vías de desarrollo para que capture parte de esos gases.

Los estudios indican que la captación se produce en un bosque en crecimiento. Lo cual indica que el comercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> podría convertirse potencialmente en una de las industrias más importantes del siglo XXI, en donde los bosques plantados serán una de las fuentes de captación más importantes de CO<sub>2</sub>.

El desarrollo planificado de plantaciones es un uso legítimo de la tierra que puede ayudar a los países productores de madera tropical a manejar sus recursos forestales de forma sostenible reduciendo la presión ejercida en los bosques naturales.

Para el caso particular de Colombia este mecanismo de mitigación y compensación que deben realizar los países industrializados se convierte en una gran oportunidad para mejorar las condiciones de vida tanto del bosque como de sus habitantes.

Además de esto, uno de los principales problemas que nos aqueja, como es el lograr la sustitución de cultivos ilícitos, a través de proyectos que sean realmente rentables para el campesino, en parte quedaría solucionado al traer recursos internacionales que costeen el establecimiento de plantaciones forestales y su posterior manejo y aprovechamiento.

En Colombia, el Ministerio del Medio Ambiente (1998), establecerá proyectos pilotos experimentales como:

1. Con la Unidad de Planificación Minero Energética de Minminas, Ecocarbón y la Cooperación del Gobierno de Suiza, establecerá un estudio para estimar la capacidad de reducción de emisiones de los gases de efecto de invernadero del parque térmico de Colombia y la estimación de captación de emisiones de bosques naturales, en algunas áreas de los Parques Nacionales Naturales
2. La Unidad de Planificación Minero Energética de Minminas, desarrollará metodologías para la formulación y evaluación de proyectos de desarrollo limpio con énfasis en la reducción de los gases de efecto de invernadero del Parque Térmico
3. Junto con el sector reforestador preparará un portafolio para gestionar ante organismos internacionales la negociación y financiación de proyectos de desarrollo limpio o bosques sumideros de carbono.
4. En coordinación con el IDEAM, el INVEMAR, el SINCHI, EL Instituto de Investigaciones ambientales del Pacífico John Von Newman, el Instituto Alexander Von Humboldt y las universidades, iniciarán un estudio relacionado con la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> en aquellos ecosistemas que por sus condiciones abióticas y bióticas tienen alta fijación, incluyendo el de Manglar.

TABLA 1. Emisiones a escala mundial, en millones de toneladas de CO<sub>2</sub> para los años 1990 - 1995

PAIS	1.990	1.995
Alemania	268	239
Australia	72	82
Austria	16	16
Bélgica	30	33
Canadá	118	129
Dinamarca	14	17
Estados Unidos	1335	1427
España	59	69
Finlandia	15	18
Francia	103	97
Grecia	20	21
Islandia	1	1
Irlanda	9	10
Italia	111	116
Japón	291	315
Luxemburgo	3	2
Nueva Zelanda	7	8
Noruega	9	8
Portugal	11	14
Reino Unido	159	1153
Suecia	14	15
Suiza	12	11
Turquía	38	43

Fuente: UNFCCC, 1999

TABLA 2. Emisiones de dióxido de carbono (%) en el ámbito mundial y su proyección manejada para el siglo XXI

PAIS	1995	2035
Estados Unidos	22	15
Europa Occidental	17	12
Europa Oriental y ex URSS	27	19
China	11	17
Japón	7	4
Asia	6	14
Medio Oriente - Africa	6	13
América Latina	4	6

Fuente: El Comercio, 1999

## BIBLIOGRAFIA

ASUMADU, K. El comercio de los derechos de emisión: una nueva oportunidad para los países productores de maderas tropicales. *In* Actualidad Forestal Tropical. Vol. 6. N° 4. Camberra, Australia. 1998

CHACON, C. M. Fijación de carbono como servicio ambiental comerciable a la luz del derecho ambiental internacional. *In* Ciencias Ambientales. N° 15. Heredia, Costa Rica, 1998

EDUARTE, E. y SEGURA, M. Determinación de carbono utilizando la calorimetría. *In* Ciencias Ambientales. N° 15. Costa Rica, 1998

EL COMERCIO. La captura de CO2 puede ser un excelente negocio. Quito, Martes 22 de junio de 1999.

HALL, D. La biomasa: un sustituto energético. *In* Actualidad Forestal Tropical. Vol. 6. N° 4. Camberra, Australia. 1998

LETAYF, J. y GONZALEZ, C. Seguridad, higiene y control ambiental. McGraw-Hill. México, 1996.

MAKUNDI, W., RAZALI, W., JUSTIN, D. Y PINSO, C. Los bosques tropicales en el protocolo de Kyoto. *In* Actualidad Forestal Tropical. Vol. 6. N° 4. Camberra, Australia. 1998.

MANSO, P. Cambio climático y fijación de carbono. La experiencia de Costa Rica. *In* Ciencias Ambientales. N° 15. Heredia, Costa Rica, 1998.

MEDINA, G y P. MENA (Eds.). El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Serie Páramo 1. GTP/Abya Yala. Quito, 1999.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan estratégico para la restauración y el establecimiento de bosques en Colombia, Plan Verde. Versión aprobada por el Consejo Nacional Ambiental. Santafé de Bogotá, 1998

NASA. NASA Godard Institute for Space Studies. URL: [www.giss.nasa.gov/research/observe/surftemp](http://www.giss.nasa.gov/research/observe/surftemp). 1999.

OCEANO. Enciclopedia OCEANO de la Ecología. Barcelona, España. 1995.

ONDARZA, R. El impacto del hombre sobre la Tierra. México: Trillas. 1997.

PEARCE, D. An economic approach to saving the tropical forest. LEEC DP90-06. International Institute for Environment and Development. Londres, 1990.

PEREZ, G. J. Asuntos económicos acerca de la captura de carbono en proyectos forestales. *In* Memorias del Seminario El desarrollo de la industria forestal, oportunidad en el siglo XXI. Medellín, 1998.

RAMIREZ, P. Gases de efecto invernadero y venta de carbono. Una visión de conjunto. *In* Ciencias Ambientales. N° 15. Heredia, Costa Rica, 1998.

RIVAS, G. Elementos para una crítica ecologista a la venta de fijación de carbono. *In* Ciencias Ambientales. N° 15. Heredia, Costa Rica, 1998.

SARRE, A. Tópicos de los trópicos: Australia organizará un mercado de créditos de carbono. *In* Actualidad Forestal Tropical. Vol. 7. N° 4. Camberra, Australia. 1999.

TOSI, J. Carbon sequestration by life zone in the Monteverde Biological Corridor. Centro Científico Tropical. Costa Rica, 1995.

UNFCCC. Secretary of the United Nations Climate Convention. URL: [www.unfccc.de/homep.htm](http://www.unfccc.de/homep.htm), 1999.