

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Mtra. María de Jesús Ordóñez Díaz

Mtro. José Antonio B. Ordóñez Díaz

Investigadores en la Universidad Nacional Autónoma de México

El efecto invernadero

Si comparásemos la superficie de planetas como Marte, Venus y la Tierra, encontraremos concentraciones de muy diferentes gases, los cuales, por su comportamiento químico pueden clasificarse en oxidantes (oxígeno, dióxido de carbono), reductores (metano, hidrógeno) e inertes (nitrógeno, argón).

En la Tierra estos gases conforman una delgada capa que la cubre, y a la cual denominamos atmósfera, la cual está compuesta por nitrógeno (78.3%), oxígeno (21.0%), argón (0.3%), dióxido de carbono (0.03%) y otros gases en cantidades menores como helio, neón, xenón. Además, contiene aerosoles (partículas) en cantidades variables dependiendo de su origen y concentración, y vapor de agua en concentraciones fluctuantes. Este último es responsable de gran parte de los fenómenos meteorológicos (Salati, 1990).

En Marte y Venus el dióxido de carbono se encuentra en concentraciones cuatro veces superior al registrado en la Tierra, en tanto, los gases inertes se presentan en concentraciones dos tercios más bajas. En Venus no se ha registrado Oxígeno y en Marte su concentración es muy baja. Algunos científicos explican la presencia de vida en la Tierra (tal como nosotros la concebimos) a esta particular combinación de gases que conforman la atmósfera terrestre y sin la cual nunca se hubiera presentado la vida en el planeta.

La atmósfera esta conformada por cuatro capas concéntricas. La capa más externa se denomina termósfera, que por su temperatura, regula la pérdida de hidrógeno al espacio que en resumen resulta en la pérdida de agua del planeta, ya que el agua es la única fuente de hidrógeno con la que contamos. Le sigue la mesosfera, en ella, bajo la acción de los rayos solares que llegan hasta aquí sin filtro, provocan el rompimiento de las

carbono; el agua en átomos de hidrógeno, radicales hidroxilo y el oxígeno en átomos de oxígeno. La tercera capa es la estratosfera, su química está dominada por la formación y acumulación de ozono, el cual forma una capa protectora a 30 Km. por arriba de la superficie terrestre.

El ozono es producido y destruido por la energía solar y la descomposición de los cluroflurocarbonos que vienen de las capas inferiores de la atmósfera. En la estratosfera existen capas de aerosoles, especialmente gotas de ácido sulfúrico y nítrico, cuya fuente original son las erupciones volcánicas y más recientemente han sido empleados por el hombre incrementando considerablemente su concentración natural, estos compuestos producen descenso de la temperatura de la Tierra al aumentar la reflexión de los rayos solares al espacio. En años recientes nubes de cristales de hielo han aparecido en la estratosfera posiblemente debido al incremento de vapor de agua, resultado de la oxidación de metano, el cual ha incrementado su concentración a más del doble desde que se inició la actividad agrícola en la Tierra. Se ha relacionado a la presencia de éstos ácidos y cristales de hielo la formación del hoyo de ozono en la Antártida.

La capa más baja es la troposfera, es en ella donde se experimentan los eventos climáticos, aquí se concentran las nubes y los aerosoles, mezclados con los productos de la contaminación. Es en esta capa donde también se concentran los seres vivos que mantienen un intercambio muy activo de gases con el aire. La circulación de los vientos permite la distribución de humedad, nutrientes y desechos alrededor del planeta tanto en tierra firme como en los océanos. En ambos, los organismos juegan un importante papel en la formación de nubes, patrón y distribución de lluvias.

El efecto invernadero se debe a que ciertos gases en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que absorben y remiten parte de la radiación infrarroja que el planeta emite de regreso al espacio exterior. Cuanto mayor es la concentración de los gases de invernadero, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta emite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta.

De mantenerse constantes las concentraciones de los gases de invernadero, la temperatura de la superficie terrestre estaría en equilibrio. Sin embargo, las actividades humanas en el proceso de su desarrollo, han provocado un desequilibrio al incrementarse en unas cuantas décadas las emisiones de componentes como dióxido de carbono (CO₂) y los clorofluorocarbonos (CFC's) y otros gases de invernadero.

Gases de invernadero

Como ya se mencionó el clima de la Tierra está dado por el balance radiactivo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la entrada de energía en forma de radiación solar, su actividad radiactiva, la abundancia de gases de efecto invernadero en la atmósfera, nubes y aerosoles (IPCC, 1992).

Diferentes autores (Schrieider, 1989; Houghton, 1989; Goudie, 1990; Dixon et al, 1994; Masera, 1995a) afirman que el dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero. Otros gases con concentraciones menores, producen el mismo efecto, tales como: metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC's), y ozono (O₃). Desde la revolución industrial, la concentración de dichos gases de efecto invernadero se ha incrementado rápidamente, principalmente por las actividades humanas.

Muchos de los gases de efecto invernadero tienen tiempos de vida (residencia atmosférica) que van de décadas a centenas de años, por lo que los cambios en las concentraciones de la atmósfera responden lentamente a los cambios en las tasas de emisión (Goudie, 1990; IPCC, 1990).

La concentración de 353,000 ppb¹ del dióxido de carbono (CO₂) en 1990, es 25% mayor que en la etapa preindustrial (1750-1800), cuyo valor era de alrededor de 280, 000 ppb, y mayor a su vez que en cualquier periodo durante los últimos 160,000 años (Goudie, 1990; Masera, 1991).

En el cuadro 1, se proporciona información sobre los principales gases de invernadero, fuente antropogénica que los genera, la concentración actual estimada en el planeta, la concentración que alcanzó en la era preindustrial y su tiempo de residencia en la atmósfera.

El cambio climático global: causas y consecuencias

Se define el cambio climático como el posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia de una elevación importante y rápida de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera (IPCC, 1995). La causa fundamental del incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, son las emisiones de estos gases provocados por actividades humanas

1 ppb (parte por billón) equivale a una parte por mil millones (10⁹) de partes (antropogénicas) que alteran la composición original de la atmósfera. En el cuadro 2. se resumen las actividades antropogénicas por sector que destacan como principales aportadoras de gases de efecto invernadero (CO₂, N₂O, CFC's, CH₄).

El panel intergubernamental de cambio climático (IPCC, 1995), estima que un cambio de las emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes a doblar las concentraciones de CO₂ con respecto al nivel preindustrial, tendría como consecuencia un incremento de temperatura de 1.5 a 3.51 C. Este cambio de temperatura provocaría a su vez:

í) cambios en los patrones de precipitación pluvial mundial, con diferencias regionales significativas.

ú) elevación del nivel del mar de 0.2 a 0.6 metros, tanto por la expansión térmica de los océanos como por el derretimiento parcial de glaciares en las montañas y de la capa de hielo en las regiones polares, como el caso en Antártica de desprendimiento de 200 km. de masas de hielo.

ff) cambios en la humedad del suelo, al aumentar la evaporación del agua.

Estos tres factores afectarían directamente todas aquellas actividades humanas que dependen de la precipitación, temperatura, humedad y cuerpos de agua. El producto de esta alteración sería equivalente a desplazar una región cualquiera en 200 km. de latitud. Esto provocaría por ejemplo: la migración de las comunidades de las zonas costeras al interior de los continentes y cambios en el uso del suelo, entre otros factores. Esto daría origen además a crisis de tipo social, económico y político (modificado de Masera, 1995d).

El dióxido de carbono: principales fuentes y sumideros

Se estima que el dióxido de carbono (CO₂), es el responsable del 71.5% del efecto invernadero (Lashof y Ahuja, 1990). Por esta razón en lo que resta del trabajo, se centrará la atención en este gas.

A nivel mundial, el uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo, son consideradas como las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósfera relacionadas con el cambio climático global (Mintzer, 1992).

La emisión de CO₂ proveniente del uso de combustibles fósiles entre 1989 y 1990, se estimó en 6.0110.5 GtC, comparadas con 5.7110.5 GtC emitidas en 1987 (IPCC, 1990). Por otro lado, el flujo neto de CO₂ emitido por cambio en el uso del suelo (principalmente por deforestación), se ha estimado en 1.6 El 1.0 GtC durante la década de los 80's (IPCC, 1992).

El ciclo global del carbono es complejo. En la figura 1 podemos observar el intercambio de carbono que se da entre la atmósfera y la biosfera; donde se aprecian los ciclos existentes (uno sobre tierra firme representado por la vegetación y otro sobre los océanos).

Los bosques a través de sus procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, absorben 110 GtCaño⁻¹, mientras que mediante la respiración emiten 55 GtCaño⁻¹ y la descomposición 2 emiten de 54 a 55 GtCaño⁻¹. El suelo, el detritus y la turba almacenan

2 La descomposición y la respiración son los dos emisores naturales de los bosques y estas emisiones suman un total aproximado de 110 GtC año⁻¹, por lo que en ausencia de deforestación hay un balance entre el carbono emitido y el carbono capturado.

172 GtC aproximadamente. Los océanos absorben aproximadamente 93 GtCaño⁻¹ y emiten por procesos químicos y biológicos cerca de 90 GtCaño⁻¹; además de que se considera que almacenan grandes cantidades de carbono (38,500 GtC). Estos dos ciclos eliminan de la atmósfera casi tanto carbono como el que le aportan de forma natural, pero las actividades humanas (antropogénicas) como la deforestación y la quema de

combustibles fósiles, están provocando un aumento en la cantidad de carbono atmosférico en unos 3 GtCaño-1 (Bolin, 1986).

Los bosques como reservorios de carbono

La superficie forestal estimada en la Tierra es de 4.1 x1 09 ha, donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2.3%. Menos dei 10% de áreas que se encuentran bajo manejo. Aproximadamente el 37% de carbono se encuentra en latitudes bajas (01 a 251 lat.), 14% en latitudes medias (251 a 501 lat.) y 49% en latitudes altas (501 a 751 lat.), es por esto que Dixon *et al.* (1994), afirman que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto a su latitud. Dos terceras partes dei carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo.

Los biomas boreales circumpolares, tienen una cobertura de 2x1 0' ha en el hemisferio norte, y contienen 800 GtC en reservas de carbono contenido en la biomasa, detritus, suelo y turba. En los ecosistemas forestales boreales, la biomasa, el detritus, la turba (con 419 GtC) y el suelo (con 290 GtC), contienen en su totalidad 709 GtC (Apps *et al.*, 1993). Los bosques tropicales, almacenan en la vegetación y el suelo, 159 GtC y 216 GtC respectivamente para un total de 375 GtC (Brown *et al.*, 1993).

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son importantes para el cambio climático global, puesto que conducen a emisiones netas de dióxido de carbono, además de grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de un 20 a un 50 por ciento de las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera (IPCC, 1995).

En México el proceso de deforestación ha sido muy severo desde finales de la década de los sesenta. Se ha perdido cerca de la tercera parte de las superficies arboladas. Entre las principales causas de este fenómeno se mencionan la expansión de la ganadería extensiva en selvas tropicales y bosques templados, la agricultura migratoria y de ladera en selvas, el mal aprovechamiento de los bosques nativos, la falta de manejo silvícola y los incendios. También presionan sobre el recurso el uso de madera

para combustible, la apertura de caminos, las explotaciones mineras y petroleras y la tala clandestina. Entre los daños que se generan por la deforestación se encuentran: pérdida de suelos fértiles por erosión, alteración del ciclo hidrológico, extinción de especies animales y vegetales, deterioro del paisaje e incremento en las emisiones de dióxido de carbono. Se estima que México aporta alrededor de 67X10¹⁰ T C al año producto de la deforestación, cantidad que constituye el 2% de las emisiones mundiales de CO₂.

De seguir las tasas de deforestación actuales (720,000 al año), para el año 2025 habrán desaparecido los bosques y selvas del país. Esto afectaría la captación de agua generando intensas sequías, pérdida de suelo, la erosión se intensificaría así como el efecto de las tormentas tropicales.

Por lo anterior es necesario conservar los bosques manejados adecuadamente, reforestar zonas altamente degradadas, intensificar los programas de reforestación planificando adecuadamente las especies a plantar, las épocas de siembra y trasplante, dar seguimiento al programa de manera tal que se garantice un alto porcentaje de sobrevivencia de la vegetación plantada. Que las especies empleadas respondan a necesidades específicas de cada sitio (protección de bordos, retención de suelo, filtración de agua, etc). permitiendo una regeneración de la cobertura vegetal, acorde al tipo de suelo, fisonomía del terreno, cercanía de cuerpos de agua, e integrando en todo momento a las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, industriales, urbanas de una región determinada.

Se requiere de ordenamientos territoriales sensible a los requerimientos ecológicos y necesidades sociales de los grupos que habitan cada localidad, región o país; que permita identificar patrones geográficos de deforestación (fragmentación de hábitats naturales) que brinden información básica sobre la vulnerabilidad a nivel local, regional y nacional de diferentes tipos de ecosistemas y permitan la generación de opciones mediatas de mitigación a los proceso de deforestación, desertificación, emisiones de CO₂, y promueva un adecuado uso del suelo, acorde a las potencialidades reales de cada lugar y satisfaga requerimientos de poblaciones locales.

Cuadro 1.. Características de los principales gases de invernadero (Goudie, 1990).

Gas	Fuentes antropogénicas	Concentra-ción Preindustrial	Actual	Incremento anual concentración	Tiempo de residencia en la atmósfera (años)
CO2	Uso de combustibles fósiles y leña; deforestación	275000	353 000	0.5 %	50-200
CH4	Cultivo de arroz, ganado tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles.	800	1720	0.9 %	10
NOx	Fertilizantes químicos, deforestación, uso de leña.	285	310	0.2 %	150-180
CFC's	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	0	3	5 %	65-130

Cuadro 2. Actividades por sector industrial, que contribuyen en la emisión de gases de invernadero (Ahuja, 1990).

Actividad emitido	Gas
Sector. Energético	
Producción de carbón	CH4
Combustión de carbón	CO, CO2, CH4, N2O
Combustión de petróleo	CO, CO2, CH4, N2O
Combustión de gas	CO, CO2, CH4, N2O
Ventilación y fugas de gas	CH4
Sector: Agrícola, Ganadero y Forestal	
Ganadería intensiva	CH4
Cultivos de arroz	CH4
Uso de fertilizantes	N2O
Combustión de biomasa	CO, CO2, N2O
Desforestación y cambio en el uso del suelo	CO2, N2O
Sector. Industrial	
Producción de cemento, metalurgia	CO2
Uso de CFC's	CFC's
Relleno sanitario y otros procesos industriales	CH4

Referencias

- Ahuja, D.R. 1990. Estimating Regional Anthropogenic Emissions of Greenhouse Gases. Report # 20p-20006, United States Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Washington, D.C. (September).
- Apps, M.J., W.A. Kurz, R.J. Luxmoore, L.O. Nilsson, R.A. Sedjo, R. Schmidt, L.G. Simpson, y T.S. Vinson. 1993. Boreal Forests and Tundra. In *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 39-53.
- Bolin, B., B.R. Dóos, J. Jager y R.A. Warrick. 1986. *The Green House Effect, Climate Change and Ecosystems*. Ed. John Wiley & Sons.
- Brown, S., Ch. HaU, W. Knabe, J. Raich, M. Trexler, y P. Woomer. 1993. Tropical Forest: their Past, Present and Potential Future Role In The Terrestrial Carbon Budget. *Water, Air and Soil Pollution*, 70:71-94.
- Dixon, RK, S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler, y J. Wisniewski. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, Vol 263, ppl 85-190.
- Goudie, A. 1990. *The Human Impact on the Natural Environmet*. Basil Blackweil Ltd, Oxford, U.K. 3` Edition. 388 pp.
- Houghton, R.A. y C.M. Woodwell. 1989. Global Climate Change. *Scientific American*, 260:4, pp 36-40.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change 1990. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. *Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. *Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kauppi, P.E. y E. Tomppo. 1993. Impact Of Forests on Net National Emissions of Carbon Dioxide in West Europe, *Water, Air, and Soil Pollution*, 70: 187-196.
- Lashof, D.A y D.R. Ahuja. 1990. Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming. *Nature*, 344:5, pp.529-531.

- Masera, O. 1991. México y El Cambio Climático Global: Un Balance Crítico. *Ciencia Y Desarrollo*, 17:100, pp. 52-67.
- Masera, O. 1995a. Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forests: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*, 20:6, pp. 388-395.
- Masera, O. 1995d. Los Bosques y El Cambio Climático Global. Universidad de México, N1 536-537, pp. 43-47.
- Mintzer, i.M. 1992. *Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses*. Cambridge, University Press, Cambridge.
- Ordóñez, A. 1997. Estimación dei Potenciai de Captura de Carbono para un Estudio de Caso de Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias UNAM, México, D.F.
- Salati, E. 1990. Los Posible Cambios Climáticos en America Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas and Comision Económica para America Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pag.
- Schneider, S.H. 1989. The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science*, 243:10, pp.271-281