

Medio Ambiente Atmosférico: Un sistema complejo

MSc. Ricardo W. Manso Jiménez

rwmanso@yahoo.com

ricmanso@met.inf.cu

Instituto de Meteorología. CITMA

Generalmente se habla de la atmósfera, y de los impactos provocados por los cambios en la concentración de sus componentes o de la introducción de nuevos en ella como algo externo a nuestra vida, como algo que no se ve y damos prioridad a aquellos sucesos que son percibidos claramente y tomando de una expresión popular cubana “sólo se acuerda de Santa Bárbara cuando truena”. La Organización Mundial de Meteorología (OMM) dedica una especial atención a los problemas relacionados con el Medio Ambiente, en especial a fenómenos como la contaminación Atmosférica, el agotamiento de la capa de ozono, radiación ultravioleta y temáticas agro meteorológicas y Climáticas (como sequías, cambio Climático, clima y salud, etc.).

El término Medio Ambiente Atmosférico (a semejanza del medio ambiente terrestre o medio ambiente marino), implica de hecho, no sólo la composición física, química y biológica de esta, sino también las interacciones de la atmósfera con la sociedad y sus actividades económicas y culturales en general, tanto por los fenómenos naturales asociados (Ej. ciclones, sequías) como los provocados o influenciados de alguna manera por el hombre.

Concebido como un sistema complejo, el problema ambiental rebasa la visión disciplinaria de la ciencia, aunque no desconoce las contribuciones que se hacen desde esta perspectiva, motivo por el cual se orienta a marchar en búsqueda de un nuevo paradigma que propone como estrategia la interdisciplina y la transdisciplinariedad.

Esta estrategia epistemológica parte de un enfoque prospectivo orientado hacia la construcción de una racionalidad abierta hacia la diversidad, las interdependencias y la complejidad, opuesta a la racionalidad dominante en la ciencia actual. Se tiende así hacia la unidad de la ciencia y la homogeneidad de la realidad.

La propuesta en el fondo, constituye una nueva visión del mundo, de integración de lo social y lo natural, donde el desarrollo no quede como responsabilidad exclusiva de las ciencias sociales, sino también de las naturales, o donde lo natural se ve aislado de la acción humana y se le entiende como simples elementos útiles al hombre.

Entender esta relación dialéctica entre la sociedad y la naturaleza, lleva o permite no seguir construyendo caminos aislados donde lo social marcha por un lado y lo natural por otro. Donde lo social se mueve por una lógica abstracta que desconoce la naturaleza y que tiene como resultado lineal su destrucción.

Construir un desarrollo sustentable, sociedad y naturaleza en equilibrio, representa el esfuerzo para construir una alternativa a la lógica desarrollista de la modernidad y un gran reto epistemológico para la construcción del conocimiento, desde una óptica que rompa la vieja dicotomía entre ciencias naturales y sociales. (F. López, R. Pérez, 2003)

Mucho de lo que ahora nos sorprende por su novedad, ya otros pensadores habían dado sus pasos hacia un pensamiento complejo, que pese a estar a veces contradictorio con nuestra manera habitual de pensar, es necesario estudiarlos.

Humboldt (1769-1859) empezó a escribir a los setenta años una obra llamada Kosmos, un ambicioso intento de cartografiar y explicar el universo entero, de el Isaac Asimov dijo “ ningún hombre antes de el ,con una mente tan activa ,había visto tanto mundo, y ningún hombre antes de el estaba tan bien pretechado para escribir un libro así...su prosa elaborada, un tanto caduca ,pero es uno de los libros destacables en la historia de la ciencia y fue la primera enciclopedia de geografía e historia razonablemente correcta El científico ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) describió a los organismos como si fueran minerales-llamándoles

“materia viviente”. El científico inglés James E. Lovelock describe la superficie terrestre, incluyendo las rocas y el aire, como cosa viva.

LA ATMOSFERA COMO PARTE DE UN SISTEMA FISICO-BIOGEOQUIMICO GLOBAL.

En los años 70 James Lovelock y Lyn Margulis formularon y popularizaron la Hipótesis de Gaia. En esta teoría, La Tierra entera es un simple superorganismo en el cual los diferentes componentes -orgánicos e inorgánicos-, interactúan para mantener un ambiente en el cual la vida pueda existir.

A partir de sus ideas fueron desarrollados paradigmas y metaparadigmas más amplios que la formulación original y que han provocado la existencia de variadas concepciones sobre el tema, tanto desde enfoques científicos como espiritual – intuitivos.

La biosfera entera es un proyecto autopoyético en el sentido que se mantiene a si misma. Uno de sus “órganos” vitales, la atmósfera, se cuida y se nutre. La atmósfera terrestre, con aproximadamente una quinta parte de oxígeno, difiere radicalmente de las de Marte y Venus. En la atmósfera de estos vecinos planetarios nueve de cada diez partes son dióxido de carbono; en la atmósfera de la Tierra el dióxido de carbono representa sólo tres partes por cada diez mil. Si la biosfera terrestre no hubiera consumidores de dióxido de carbono (plantas verdes, algas, bacterias fotosintéticas y productoras de metano) ,hace mucho tiempo que nuestra atmósfera habría alcanzado un equilibrio químico en el que abundaría este gas. Y virtualmente todas las moléculas capaces de reaccionar con otras lo habrían hecho ya.

El Sistema Climático podemos considerarlo como un sistema compuesto en el que se integran la Atmósfera, la Hidrosfera, la Litosfera, la Criosfera y la Biosfera. [El clima es](#) consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criosfera), los organismos vivientes (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geosfera). Sólo si se considera al sistema climático bajo esta visión holística, es posible entender los flujos de materia y energía en la atmósfera y

finalmente comprender las causas del cambio global. Existe un fuerte consenso científico que el clima global se verá alterado significativamente, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos.

El Cambio Global Climático, es un cambio que es atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición global atmosférica, agregada a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables de tiempo. La atmósfera de la Tierra, está constituida fundamentalmente por el aire que se define como una mezcla de gases, y partículas de una amplia variedad de elementos y compuestos químicos.

Entre los constituyentes atmosféricos que se les denomina "*principales*" se encuentran aquellos que tienen una concentración relativa igual o mayor que el 1 % en volumen ejemplos el nitrógeno, el oxígeno y el argón (este último de forma aproximada).

Los constituyentes "*trazas o menores*" son los de concentración inferior al 1 %, y donde se incluyen el resto de los gases y las partículas.

El vapor de agua, otro de los compuestos claves de la atmósfera, tiene una concentración variable (0-5 %).

Pese a su muy pequeña concentración en la atmósfera, los constituyentes trazas tienen una gran importancia para la vida en nuestro planeta.

Al contrario de los principales -en los cuales no se detectan cambios de gran importancia-, en varios de los trazas, se vienen observando incrementos sustanciales de sus concentraciones debido a las emisiones de contaminantes procedentes de las actividades humanas.

Estos aumentos de concentraciones, dan origen a los principales problemas ambientales asociados a la contaminación atmosférica en nuestros días.

Fourier en 1827 fue uno de los primeros en estudiar el efecto de invernadero de la Atmósfera y alertar que el proceso de industrialización podía modificar el clima. En 1896 Arrhenius motivado originalmente por su deseo de explicar las variaciones de temperatura durante los ciclos de glaciación del cuaternario, aplicó sus resultados al tema de los posibles cambios climáticos causados por las emisiones industriales de dióxido de carbono (Bengtsson, 1997).

Callendar (1938) revisó los datos disponibles y concluyó que los niveles del CO₂ aumentaban como consecuencia de las actividades humanas y que este incremento conduciría a un calentamiento atmosférico. Posteriormente, varios modelos del balance radiativo terrestre han apoyado la hipótesis de que el incremento del CO₂ conduce al cambio climático (Cess y col., 1993).

En una elemental aproximación, podríamos expresar así el flujo de emisiones de CO₂:

$$E = E_b + E_c + E_i$$

$$\Delta \text{CO}_2 = E - A_f - S$$

donde: E = Emisiones totales de CO₂

E_b = Emisiones de tipo biológico (respiración, combustión y oxidación de biomasa, incluida reforestación).

E_c = Emisiones por quema de combustibles fósiles.

E_i = Emisiones por oxidaciones no orgánicas (industriales, etc.).

A_f = Absorción de CO₂ por fotosíntesis.

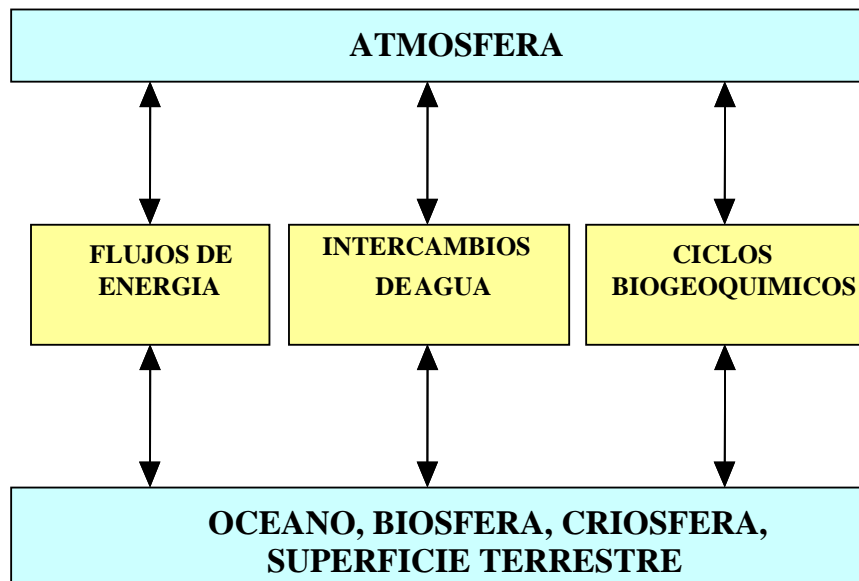
S = Sumideros de CO₂ distintos de A_f (incluido el océano). Lo que supone que deberían estar compensadas las emisiones y la absorción de CO₂,

En la actualidad cabe esperar: $dE/dt > 0$ $dE_c/dt > 0$ y posiblemente $dE_b/dt > 0$

E_i es un orden de unas cien a doscientas veces menor que E_c.

En una primera aproximación podríamos poner: $E_c = E_{ct} = E_{ch}$ donde E_{ct} y E_{ch} son las emisiones producidas por actividades de transporte e industriales en general, y E_{ch} las producidas por consumos domésticos y climatización artificial.

VIAS PRINCIPALES DE INTERACCION DE LA ATMOSFERA CON EL RESTO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA CLIMATICO



Las incertidumbres de los futuros cambios climáticos no descansan solamente en tópicos de la dinámica del sistema físico del clima y su representación en los modelos de circulación general. La comprensión del ciclo del carbono es la llave para la comprensión los cambios en la biosfera terrestre y en las concentraciones futuras de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

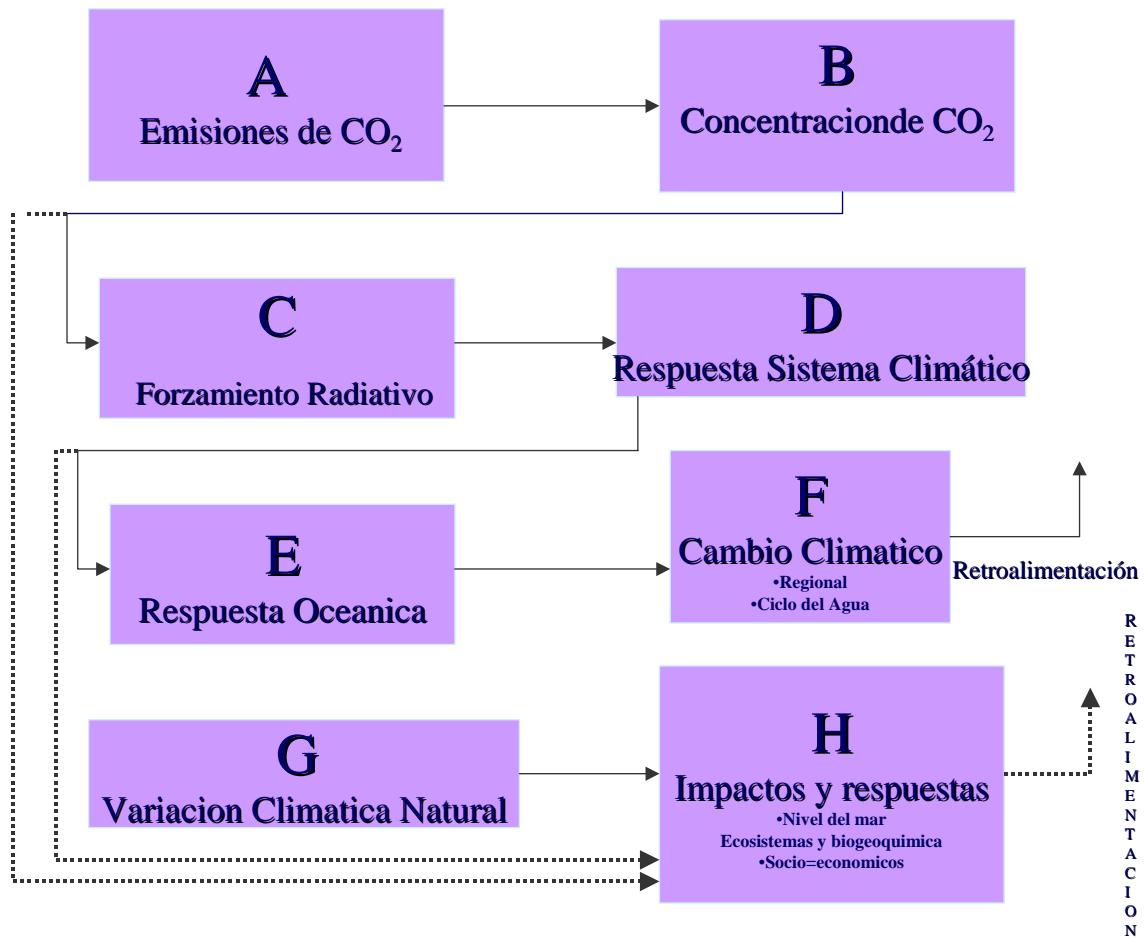
La respuesta de los sistemas biológicos a los vectores de cambio (aumento de la temperatura media y concentración de CO₂, cambio de los patrones de precipitación y aumento de la severidad y frecuencia de eventos extremos) ha sido experimentada por los distintos niveles de organización -ecosistema y comunidad, población e individuo- de los sistemas biológicos de ambientes acuáticos y terrestres. También los procesos ecológicos son influidos por el cambio climático y determinan, junto a la capacidad de adaptación, los efectos que los cambios generan sobre la estructura y función de los sistemas biológicos. El Cambio Climático supone una importante presión adicional sobre los ecosistemas terrestres, afectados ya seriamente en la actualidad por la contaminación, la sobreexplotación y la fragmentación del territorio.

Los bosques realizan una función fundamental en la regulación de la composición gaseosa del aire atmosférico. Por ello, la disminución del 50 -70 % de la población

boscosa de la Tierra y la tala de los bosques naturales, durante los últimos milenios, debió manifestarse en cierta medida en el balance del carbono y del oxígeno de la Atmósfera y del Océano.

De McBean (1994) tomamos el siguiente diagrama (fig. # 1) explicativo:

Modelo conceptual de interrogantes en la dirección del cambio climático y sus impactos debido a las emisiones de gases de efecto invernadero por las actividades humanas.



A la atmósfera se expulsan una gran cantidad de contaminantes los cuales ejercen un daño considerable a medio ambiente y a la salud.

Tabla 1 Clasificación de los Contaminantes en la atmósfera

I		Ejemplos
Gases	Inorgánicos	SO ₂ , NO _x , CO ₂
	Orgánicos	Hidrocarburos, Terpenos
Partículas (líquidas o sólidas)	Inorgánicas	Oxidos metálicos, Sílice
	Orgánicas	Polen
II		Ejemplos
Primarios	Son emitidos directamente a la atmósfera	Hidrocarburos, CO
Secundarios	Se forman en la atmósfera por diferentes procesos	O ₃

Escala de los Problemas de Contaminación Atmosférica.

Tabla 1.8 - Clasificación de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de acuerdo al proceso que origina la contaminación.

Tipo de Contaminación		Resolución Espacial	Escala Temporal	Escala Meteorológica	Nivel de Contaminación
Naturales		km	Ejemplo de Erupciones volcánicas		Oxidos de azufre, partículas
Local		< 1	< Una hora	Micro	Local
Urbano		1-20	Radioactividad natural	Micro	Aerosoles marinos, gases
Regional	Nacional	20-500	Emisiones desde el día	Meso	Local/Urba no
Antropogénicas	Continental	500-3000	Emisiones de la combustión espacial	Meso	Polen, gases
			Emisiones industriales	Macro inferior	Variedad de gases, partículas
Global		> 3000	Meses	Macro	Oxidos de azufre y nitrógeno, partículas
(1) Al nivel local se le denomina también “nivel de impacto” mientras que a los niveles regional y global se les denomina “niveles de fondo”.		Agrícolas y silvícolas	Preparación de tierras		Hidrocarburos, CO, partículas
			Equipos de laboreo y transporte		Hidrocarburos, CO, NO _x , partículas
			Atención a cultivos		Herbicidas, plaguicidas, fertilizantes
			Quema de bosques		CO ₂ , CO, NO _x , N ₂ O
			Disposición en la tierra de residuos sólidos		CH ₄ , CO, NO _x , aldehídos, olores indeseables

Las tablas anteriores nos muestran una panorámica de las emisiones a la atmósfera tanto de origen natural como inducidas por las actividades humanas. Hemos visto como alteran al sistema climático, a continuación mostraremos su impacto en la salud.

IMPACTO EN LA SALUD

La emisión de sustancias nocivas a la atmósfera afecta tanto la salud humana como los ecosistemas. Se considera que la contaminación del aire libre y de locales cerrados es la responsable de casi el 5% de la carga mundial de enfermedades. Hay cada vez más pruebas de que las partículas de un diámetro aerodinámico medio menor a 2.5 μm (PM2.5) afectan la salud de manera significativa (WHO 1999).

Las condiciones topográficas y meteorológicas desfavorables aumentan los efectos de la contaminación. Ciertas condiciones topográficas y meteorológicas agravan los problemas. El valle de México obstruye la dispersión de contaminantes provenientes del área metropolitana y el mismo efecto producen las montañas de Santiago de Chile.

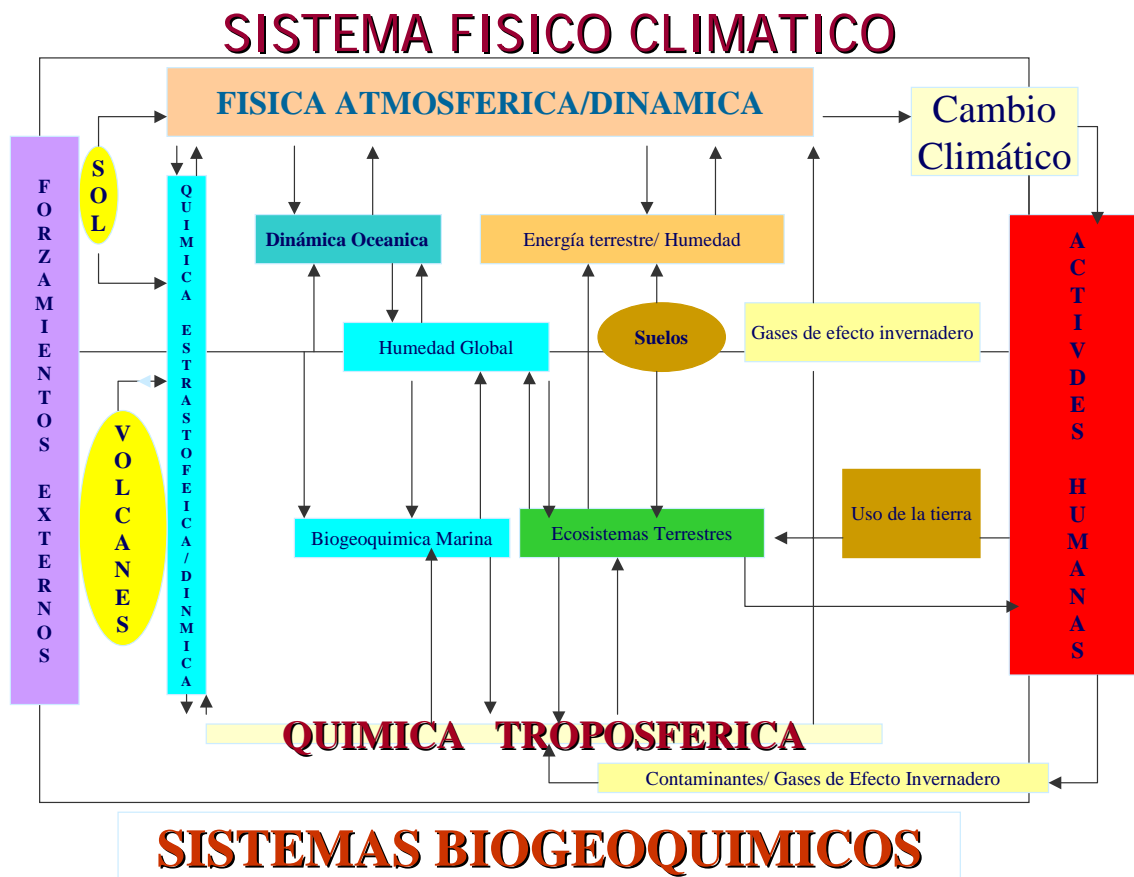
Estudios en Austria, Francia y Suiza puso en evidencia que las muertes provocadas por la contaminación atmosférica del transporte automotor son mayores que la provocada por los accidentes por este sector en esos tres países. La exposición prolongada a la contaminación atmosférica provocada por los automóviles causa anualmente 21 000 muertes prematuras por enfermedades respiratorias y cardíacas en adultos mayores de 30 años. En comparación el total de muertes por accidentes es de 9 947. Además dicha contaminación provocada por los automóviles en dicho tres países causa anualmente 300 00 casos de bronquitis infantil, 150 000 casos cardíacos que requieren hospitalización, 395 000 ataques de asma en adultos y 162 000 en niños y aproximadamente 16 millones de días -personas de actividades restringidas debido a dificultades respiratorias en la población mayor de 20 años. El costo total de estos efectos en la salud asciende a 27 000 millones de euros por año, es decir, al 1,7 por ciento del PIB combinado de los tres países. Eso equivale a 360 euros anuales por persona (Kunzli y otros, 2000).

En el caso particular de las ciudades, se sabe que tres cuartos de la población de América Latina y el Caribe viven en ciudades. Varias Mega polis del Mundo, como Buenos Aires, México DF, Río de Janeiro y San Pablo, cada uno con más de 10 millones de habitantes, están situadas en la región. El crecimiento económico de estos centros ha causado el aumento de la contaminación atmosférica

(especialmente de CO, NOx, SO2, O3 troposférico, hidrocarburos, partículas en suspensión, así como dioxinas y furanos de alto poder cancerígeno) y de las repercusiones sobre la salud que le están asociadas.

A continuación mostramos un diagrama de las interacciones que influyen sobre el sistema climático según Moore III y Braswell Jr. (1994). Donde claramente se aprecian los diferentes procesos dinámicos tanto naturales como los provocados por el hombre

Diagrama conceptual del sistema Tierra mostrando aspectos de la interacción entre el subsistema biogeoquímico y el subsistema físico - climático



Como se aprecia en este esquema, diferencia de manera explícita el uso de la tierra. En la mayoría de los países pobres el uso de la tierra implica una deforestación creciente que repercute de manera significativa sobre los ciclos biogeoquímicos tales como los ciclos del carbono, del nitrógeno, el del azufre, el del agua o hidrológico, el del fósforo y otros. Le falta señalar la influencia de productos nuevos como los refrigerantes fluorocarbonados, que si bien en un principio no eran ni tóxicos ni dañaban al medio ambiente directamente, si a la larga al llegar a la estratosfera empezaron a agotar la capa de ozono, por lo que fue necesario tomar medidas urgentes.

CONCLUSIONES

- El estudio de la atmósfera de manera holística es por tanto más que un estudio de sus variables físicas y químicas, como se ha visto de su dependencia de los factores bióticos y humanos.
- No contar con el medio ambiente, es un suicidio económico, social y humano, sin contar con el deterioro de la calidad de vida. Nuestros modelos de desarrollo y por ende de vida y consumo, tienen que cambiar. Es imprescindible dar a conocer los resultados científicos, al menos tomar en cuenta el principio de precaución, por lo que una gran parte de los gastos de una sociedad deben estar en función de observar, medir, pronosticar y comunicar los resultados para tomar acciones en nuestro propio beneficio y evitar nuestra propia destrucción.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA:

Barnola y otros (1987): Vostok ice core: 160 000 year record of atmospheric CO₂. Nature 329.

Bengtsson, Lennart (1997): A numerical simulation of antropogenic Climate Change. AMBIO, Volume xxvi number 1, february 1997

Brown, S. y E. Lugo (1990): Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and U.S Virgin Islands. Plant and Soil 124:53-64.

Brown, S.(1996): Tropical forest and the global carbon cycle: estimatig state and change in biomass density. NATO ASI Series Vol 140, Forest Ecosystems. Forest Management and the Global Carbon Cycle. Edited by Michael J Apps and David T Price

Budyko, M.I. (1982) :The Earth”s Climate: Past and Future. Academic Press, 1982, 307pp

Budyko, M. I.; A.B. Ronov y A.L. Yanshin, (1987). The History of the Earth's Atmosphere Springer-Verlag, 209pp

Budyko, M. I. ; Yu. A. Izrael; M. MacCracken y A.D. Hecht, (1990): Prospect for Future Climate. A special USA/USSR Report on Climate Change. Lewis Publishers. 270pp.

Cess,R.D. et. al., (1993): Uncertainties in carbon dioxide radiative forcing in atmospheric general circulation models, Science, 262, 1 252-1 255.

Dickerson, R. E. Y R.J. Cicerone, 1986: Future global warming Fremy atmospheric trace gases, Nature, 319, 109-115

Dixon, R. K., S.Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler and J. Wisniewski (1994) : Carbon Pools and Global Forerst Ecosystems. Science, volume 263, pp.185-190

Eswaran, H., E. Van Den Berg and P. Reich (1993): Organic Carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am. j.57.:192-194

IPCC/OECD/IEA Programme on National Greehouse Gas Inventories (1998) " Expert Group Meeting on National Feedback on the Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greehouse Gas Inventories" 15 pp. La Habana, septiembre de 1998.

Fernández, Francisco (1993): Ecología y desarrollo rural: Un enfoque general. Revista Geográfica de América Central, Nø28

Hartmann, D. L.,(1994): Global Physical Climatology. Academic Press, 411p, U.S.A.

Houghton, R. A. (1991): Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. Climatic Change.

IPCC, WGI(1995): Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Summary for Policymakers and Technical Summary of Working Group. Report, 54 pp

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.(1996): Land-Use Change & Forestry. Expert Groups Report: July, 1996.

Lorenz, E : Boletín de la Organización Meteorológica Mundial. Volumen 45 No2. Abril de 1996.

Kunzli,N et al ,2000. Public health Impact of outdoor and traffic related air pollution . A European assessment . The Lancet 356, 795-800

Martí, José (1883): Congreso Forestal. Obras Completas. Editorial Ciencias Sociales. La Habana. Tomo 8 460 pg (302, 303 pg).

Moore III, B; Braswell jr; B.H. (1994): Planetary Metabolism: Understanding the carbon cycle. AMBIO. V XXIII, N 1, pp4-12

McBean, G (1994): Global Change Models- A Physical Perspective.AMBIO. V XXIII. N 1, PP13-18

Nadal Egea, Alejandro: (1992): Economía ambiental y cambio climático: externalidades y régimen regulatorio por creación de mercados. Comercio Exterior, Vol. 42, num.7, México, julio de 1992, pp.