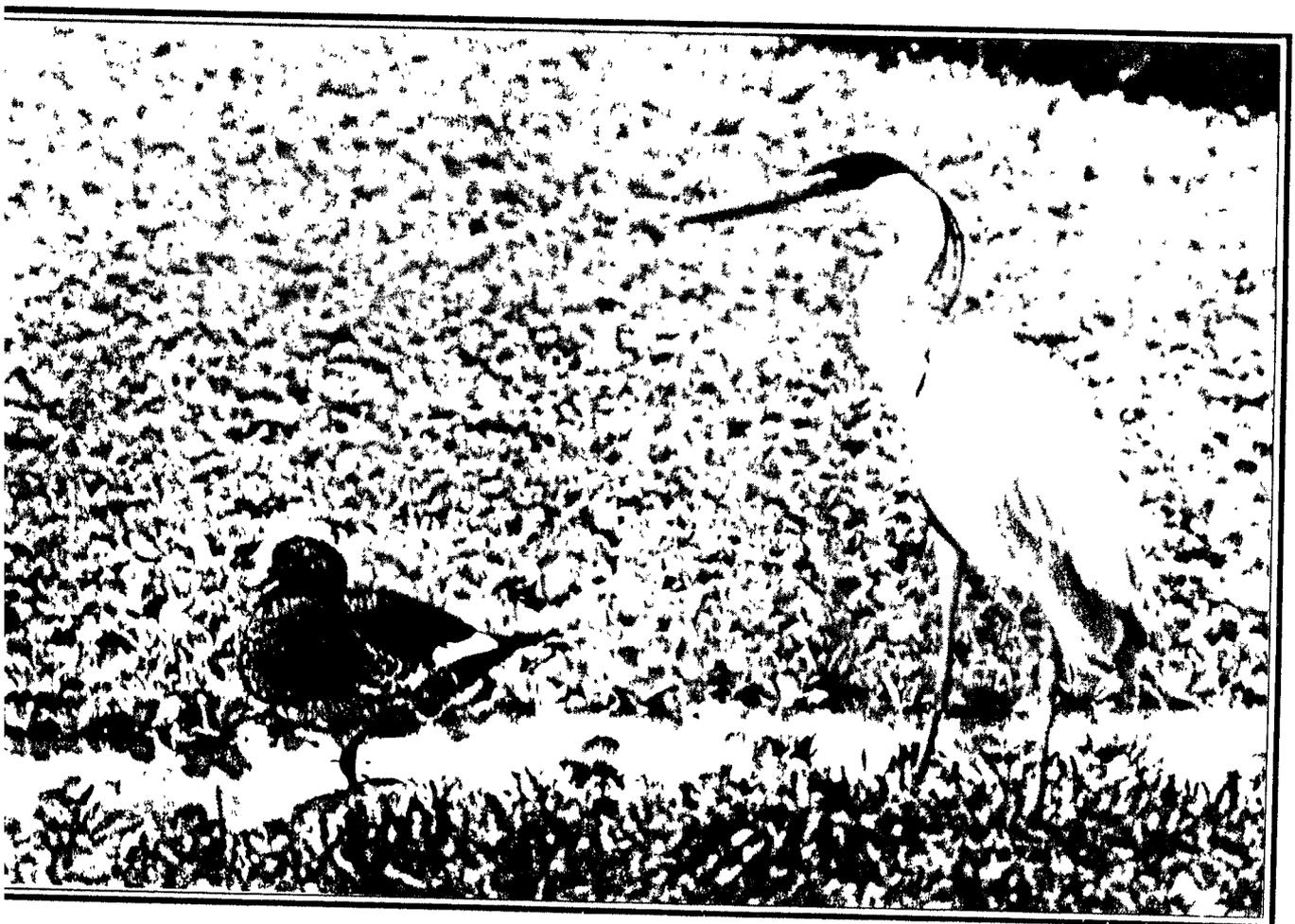


---

# LA GEOLOGIA COMO ELEMENTO NECESARIO PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL



---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: El ciclo global del fósforo

Figura 2: El Ciclo global del azufre

Figura 3: Estimación emisión global del azufre de 1860 a 1980

Figura 4: Rango de PH en la naturaleza

Figura 5: El ciclo global del nitrógeno

Figura 6: El ciclo global del carbono

Figura 7: Emisiones de carbono procedentes del uso de combustibles fósiles

Figura 8: Concentraciones de CO<sub>2</sub> medidas con Hawaii ( Mauna Loa )

Figura 9: El registro de cambios globales durante los últimos 150 años

Figura 10: Situación de diferentes variables al final de la última glaciación ( adaptado de Broecker & Denton, 1990 )

## TABLAS:

1. Energía que llega a la superficie de la tierra
2. Los ocho elementos más abundantes de la corteza terrestre
3. Emisiones en SO<sub>2</sub> de volcanes colombianos
4. Análisis de lluvias

## CUADROS:

Cuadro número 1: Acumulación de gases en la atmósfera

# LA GEOLOGIA COMO ELEMENTO NECESARIO PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL

---

Por: Michel Hermelin A. Director de la Línea de Geología Ambiental Universidad EAFIT.

---

## INTRODUCCION

---

**E**ste corto trabajo intenta presentar algunos aspectos en los cuales las ciencias de la tierra tienen una relación estrecha con la llamada "contaminación ambiental", particularmente en su aspecto atmosférico. Las inquietudes actuales acerca de este fenómeno a nivel global han recalado la importancia que tiene el conocimiento cuantitativo de los ciclos de los diferentes elementos con el fin de prever y ojala de mitigar sus posibles consecuencias nocivas para la humanidad.

La civilización industrial está produciendo una serie de cambios en lo que respecta al estado natural del planeta, que pueden llegar a producir fenómenos irreversibles que alteren su equilibrio dinámico, que puede ilustrarse por medio de los siguientes ejemplos:

- A pesar de los numerosos aportes y pérdidas que sufre el agua de los océanos, tanto por material de origen interno del globo como por la descarga de las aguas de los continentes y la acción de los organismos, su composición casi no ha variado desde hace unos 550 millones de años (Holland, 1984).

- La primera "contaminación" en masa que sufrió el planeta fue provocada por organismos marinos, particularmente algas, que al absorber y fijar gas carbónico y al desprender oxígeno, produjeron, como resultado, la composición de la atmósfera, que hizo posible la vida en la superficie de los continentes. Antes de esa contaminación, la vida sólo era viable en medio acuático.

- En varias oportunidades y posiblemente en forma cíclica, se produjeron durante la evolución de la biósfera, extinciones masivas de organismos. Se conocían a través de las evidencias paleontológicas, pero sólo recientemente cálculos estadísticos permitieron definirlos y plantear su posible recurrencia periódica. Una de las extinciones mejor documentadas es la que aparece en el límite entre el Cretáceo y el Terciario, que coincide con unos delgados estratos con un contenido anómalo de iridio. La hipótesis emitida por los descubridores (Alvarez et al, 1980) es de la caída de un meteorito de gran tamaño. Más recientemente se han planteado otras relaciones con erupciones masivas de basaltos (Huffman, 1990).

- Paralelamente a los fenómenos anteriormente descritos, la historia de la tierra es una sucesión de "innovaciones biológicas" unidireccionales que culminan con la actual complejidad biológica. La vida afecta la superficie de la tierra en una proporción muy alta con respecto a su masa (Botkin, 1989).

Los ejemplos anteriores muestran que la posibilidad de la vida en la superficie de la tierra es debida a circunstancias físico-químicas, históricas y astronómicas muy particulares. Es por lo tanto lógico que una de las máximas preocupaciones actuales sea que este equilibrio dinámico pueda ser afectado por la intervención humana.

La tarea prioritaria para el hombre moderno consiste, por lo tanto, en determinar cuáles son los límites aceptables de contaminación que puede soportar el planeta, lo que necesariamente implica conocer detalladamente los diferentes procesos que ocurren en él (IGBP-ICSU, 1990).

### Ciclos Biogeoquímicos

La superficie del planeta tierra recibe su energía de varias fuentes: la radiación solar, la energía cinética procedente de la rotación de la tierra misma, de la luna y del sol, que se manifiesta en las mareas y la energía procedente del interior de la tierra. La cantidad aproximada procedente de cada fuente aparece en la tabla 1 (Skinner & Porter, 1987).

TABLA 1 (Adaptada de Skinner & Porter, 1987).

#### ENERGIA QUE LLEGA A LA SUPERFICIE DE LA TIERRA CADA 24 HORAS

Fuente	Cantidad (Julios)
Radiación solar	$15.5 \times 10^{21}$
Flujo de energía interna	$27.6 \times 10^{17}$
Mareas	$2.5 \times 10^{17}$

Esta energía permite que ocurran cambios en la superficie de la tierra, que se manifiestan, entre otros, por cambios en la ubicación de los diferentes elementos, cuyos ciclos se describirán más adelante. La

proporción de elementos que conforman la corteza terrestre, es decir la capa sólida más externa del planeta, con un espesor de 20 a 50 km, aparece en la Tabla 2 (datos de Clarke & Washington, 1924). Es interesante anotar que allí no figuran elementos tan importantes como el carbono, base para el desarrollo biológico y muy pocos de los elementos indispensables para la industria moderna.

El interés en el estudio de los ciclos biogeoquímicos se evidenció desde 1975 (Cook, 1984) al deducirse que la comprensión cuantitativa de dichos ciclos era indispensable para poder conocer la importancia de la contaminación humana. Entre los ciclos tempranamente estudiados están los del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, indispensables para la existencia de organismos. Las rocas suelen contener fósforo y azufre, pero el nitrógeno y el carbono que utilizan las plantas provienen de la atmósfera. Por otra parte el fósforo tiende a ser evacuado por lavado hacia el océano, lo que produce una pérdida de fertilidad en los suelos

TABLA No. 2

#### LOS ELEMENTOS MAS ABUNDANTES DE LA CORTEZA TERRESTRE

Elemento	% en peso
Oxígeno	46.59
Silicio	27.72
Aluminio	8.13
Hierro	5.03
Calcio	3.63
Sodio	2.85
Potasio	2.60
Magnesio	2.09
TOTAL	98.64

El ciclo global del fósforo es el que menos fase gaseosa presenta en la atmósfera. El mayor impacto humano se produce por el uso de fertilizantes, necesarios por la pérdida de fósforo en los suelos cultivados. Una vez incorporados en los sedimentos marinos, el fósforo se demora varios millones de años antes de ser convertido en mineral eventualmente explotable (fig. 1).

El azufre en la atmósfera proviene tanto de procesos naturales como artificiales (fig. 2).

Como ejemplo de emisiones volcánicas, Méndez (1987) señala emisiones diarias de azufre de 300 a 12.000 toneladas/día para el Ruíz en la época posterior a la erupción de 1985, medidas con COSPEC. Datos más recientes publicados por el Bulletin of the Global Volcanism Network son los siguientes

Ruiz (SO <sub>2</sub> ) Mes	Número de medidas Ton/día	
Mayo 90	1519	11
Junio 90	5985	3
Julio 90	1097	6
Agosto 90	2437	-

#### Galeras (SO<sub>2</sub>)

Agosto de 1990: 1343 a 3023 ton/día, 10 medidas

No deja de ser interesante comparar estas cifras con las que se pueden suponer en cuanto a producción de azufre por la industria. Con una producción diaria promedio de 2000 ton/día o sea unas  $0.7 \times 10^6$  toneladas año, un solo volcán activo produce varias veces el SO<sub>2</sub> que produce la industria colombiana durante el mismo lapso de tiempo.

La situación a nivel global es bien diferente, como lo muestra la figura 3.

Una de las consecuencias más problemáticas que ha causado el aumento de SO<sub>2</sub> en la atmósfera ha sido en Europa y Norteamérica la ocurrencia de lluvias ácidas, con consecuencias nefastas como destrucción de bosques, de vida acuática y de microorganismos en los suelos (figura 4).

El ciclo del nitrógeno presenta mucha similitud con el carbono, por la participación del primero en la formación de moléculas orgánicas como las proteínas. La producción de nitrógeno en forma de abonos puede rápidamente llegar a ser comparable con la cantidad que se fija biológicamente en forma natural. El nitrógeno contribuye también a la formación de compuestos ácidos en la atmósfera (figura 5).

El ciclo global del carbono (fig. 6) presenta varios interrogantes sin resolver:

- La cantidad de carbono fijada por las plantas verdes.
- La cantidad de carbono absorbida por el océano.

Las emisiones de C por utilización de combustibles fósiles (fig. 7) y por deforestación han significado un aumento neto en la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (fig. 8). Se supone que, de seguir las tendencias actuales (adicción de  $3 \times 10^9$  ton de CO<sub>2</sub>/año), esta concentración se duplicará en el curso del siglo XXI.

Como puede verse, cada uno de los ciclos anteriores tiene un componente geológico más o menos importante. A través del tiempo geológico, particularmente a raíz de los cambios climáticos, los aspectos cuantitativos de estos ciclos pudieron variar. Sin embargo, por ahora, se están apenas descifrando estos cambios, cuyo interés se ve acrecentado por la posibilidad de proyectar los resultados hacia el futuro (Berger, 1985; Sunquist, 1987).

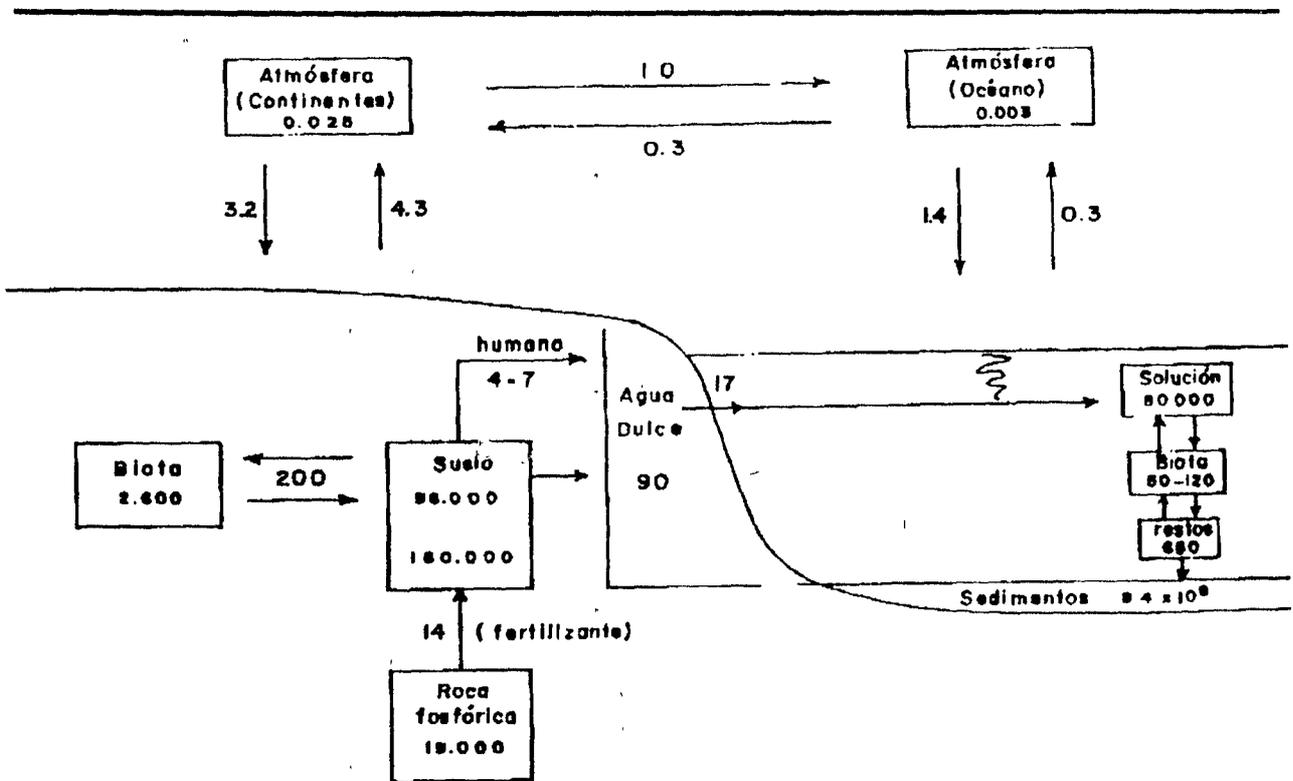


Fig.1. El ciclo global del fósforo ( adaptado de Cook, 1984) (unidades:  $10^6$  ton y ton/año)

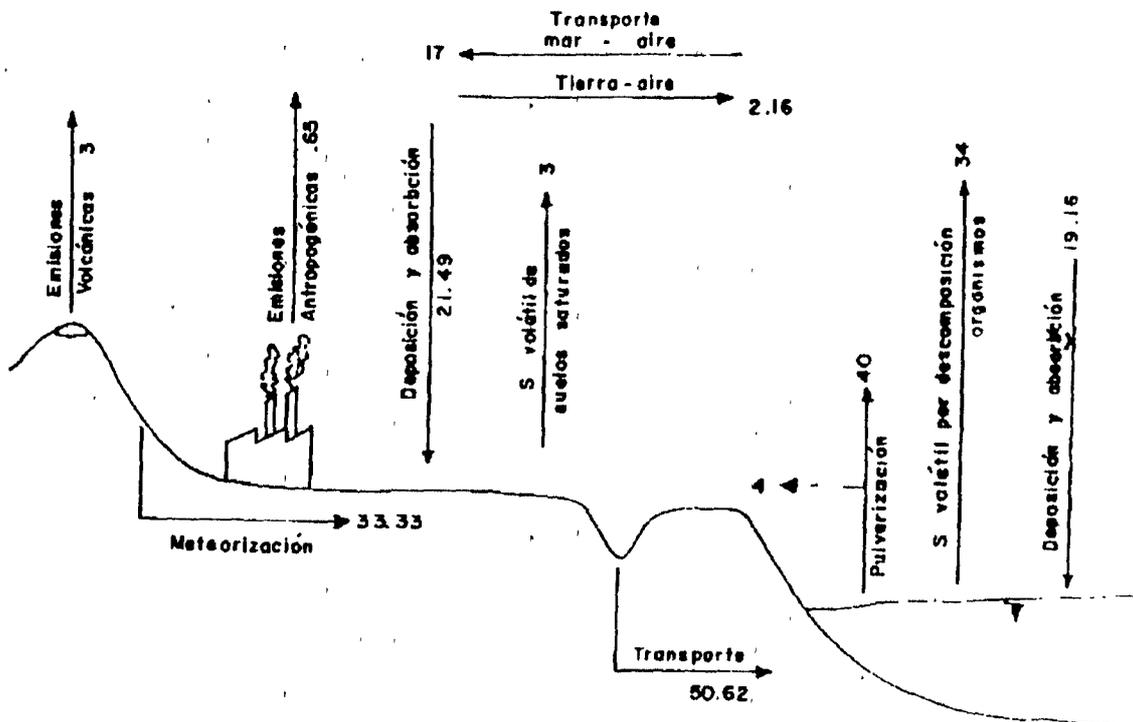


Fig. 2. El ciclo global del azufre (adaptado de Cook, 1984) Las cifras después del punto son estimaciones de la contribución debida a la actividad humana. (unidades:  $10^6$  ton y ton/año)

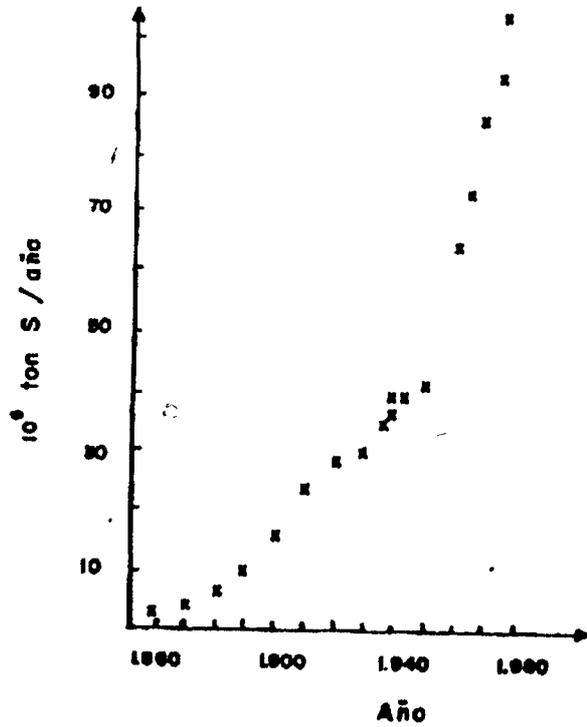


Fig. 3. Estimación de emisiones globales de azufre de fuentes antropogénicas 1860-1980 (Cook, 1984)

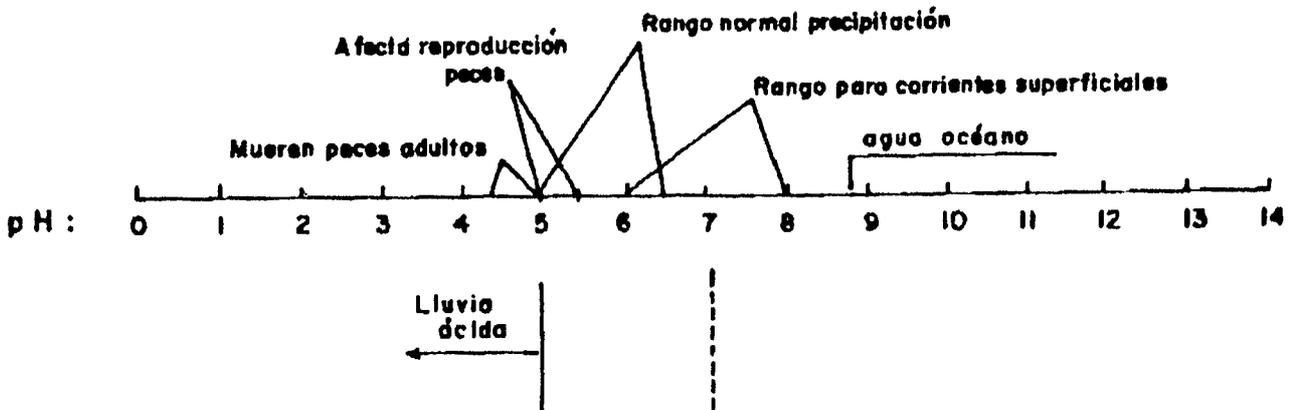


Fig. 4. Rangos de pH en la naturaleza (adaptado de Pickering, 1987)

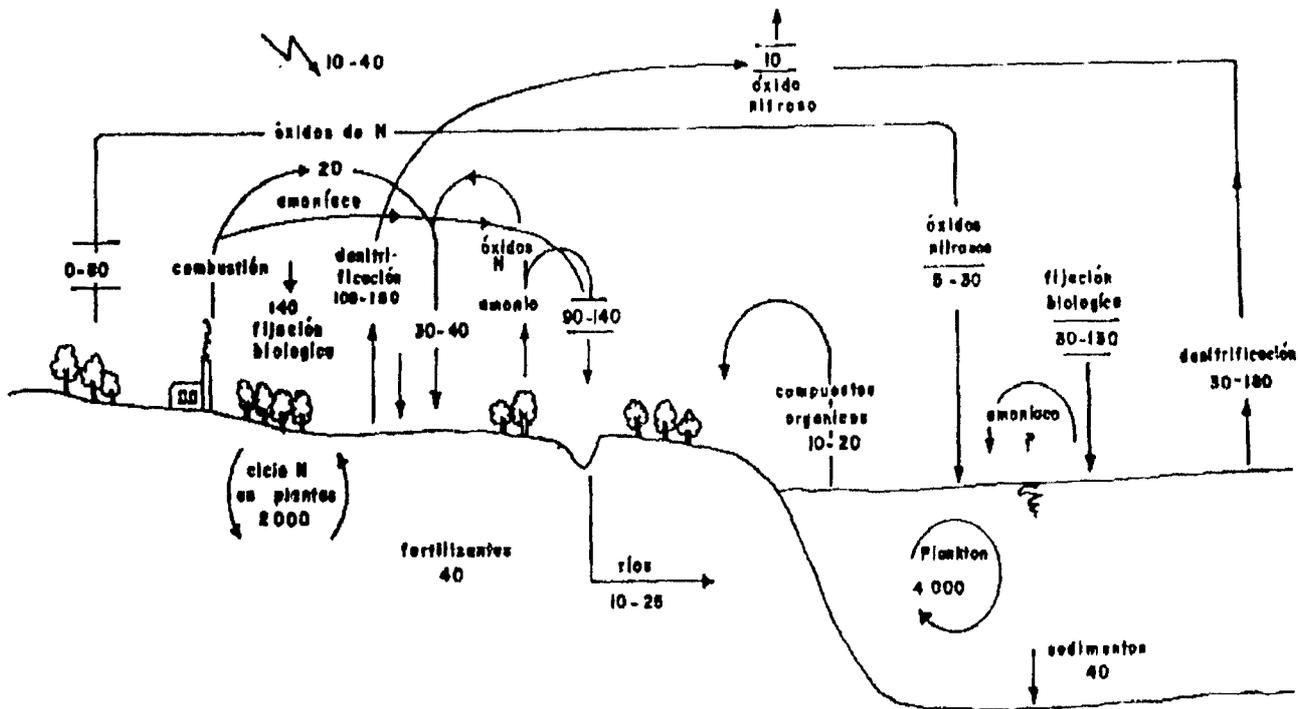


Fig. 5. El ciclo global del nitrógeno (unidades en  $10^6$  ton/año) (Cook, 1984)

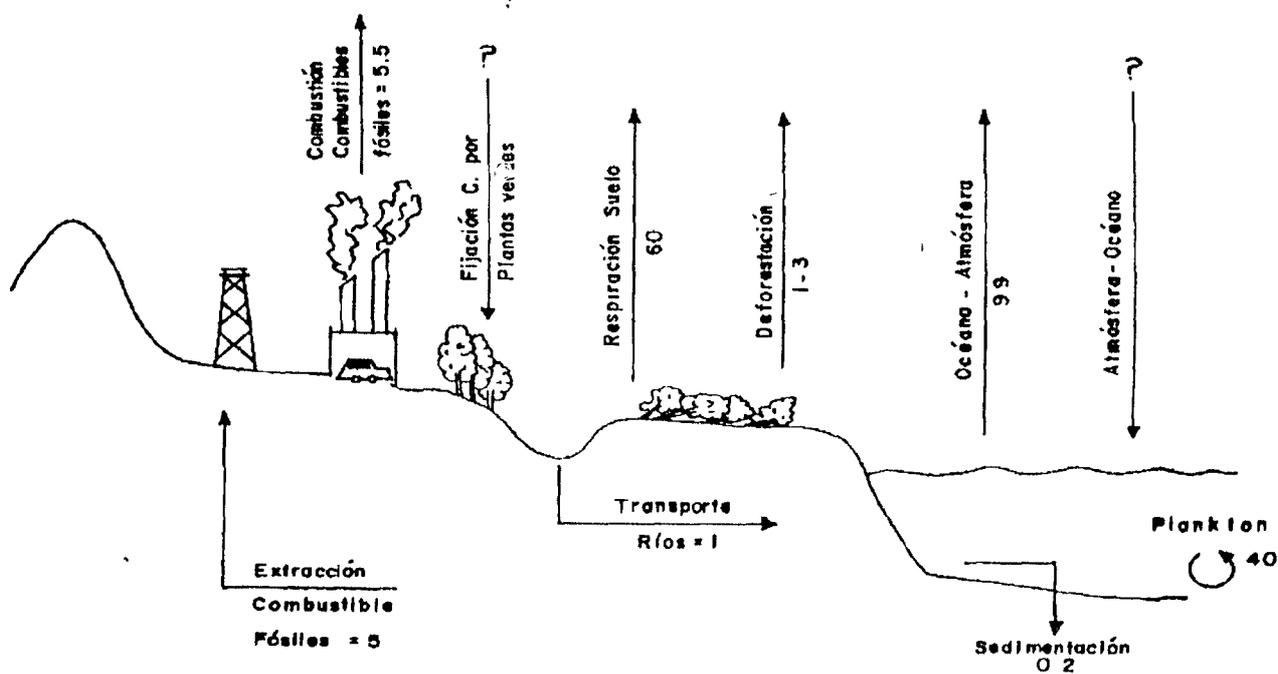


FIG. 6. El ciclo global del carbono (Geotimes, mayo 1990, p. 7). Las unidades son en  $10^9$  ton/año.

## Atmósfera y clima

Además de los elementos considerados en el capítulo anterior, la atmósfera también recibe otros productos:

A. Los gases que arrojan los volcanes; incluyen H<sub>2</sub>O y compuestos del Cl, F e H. Los volcanes pueden también producir grandes cantidades de polvo microscópico que se dispersa en la atmósfera a grandes alturas.

Se conocen varios casos de víctimas causadas por emanaciones volcánicas (Crandell et al, 1984). (Figura 7)

- La erupción de 1783 del Volcán Lakgigar, en Islandia, arrojó grandes cantidades de fluor, que envenenó los pastos y por lo tanto el ganado, e impidió la pesca, causando un gran hambruna que mató a 10.000 personas. Los inviernos subsiguientes fueron más fríos en toda Europa.

- Los gases producidos por la erupción de 1979 del Volcán Dieng, (Indonesia) compuesta principalmente por CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, mataron a 145 personas.

- Las emanaciones gaseosas, probablemente de CO<sub>2</sub>, producidas en los lagos de origen volcánico Monoum (15 de agosto de 1984) y Nyos (21 de agosto de 1986) en Camerún causaron respectivamente 34 y 1250 víctimas.

En cuanto a su influencia sobre los climas, la tendencia actual reconoce la posibilidad de cambios meteorológicos temporales asociados con erupciones (precipitación, descenso de temperatura por polvo volcánico y SO<sub>2</sub> en la atmósfera), pero parece haberse desechado la hipótesis de cambios globales relacionados con volcanismo (Axelrod, 1981).

B. Los gases de origen industrial posiblemente

no representan en la mayoría de los casos un riesgo mortífero tan inmediato como el de algunas erupciones volcánicas. Sin embargo su acumulación en la atmósfera (cuadro No. 1) puede plantear serios inconvenientes:

- Efecto invernadero (aumento de la temperatura media de la superficie de la tierra, (fig. 9), sobre la importancia de este fenómeno se han planteado últimamente grandes interrogantes (Lochhead, 1990; Booth, 1990; Schneider, 1989).

- Destrucción de la capa de ozono (Brune, 1989; Mc Elroy & Salawitch, 1989).

- Lluvias ácidas (Pickering, 1987; Berner, 1987), que también pueden estar relacionadas con quemas de vegetación y aun con causas naturales, como parece ocurrir en el Amazonas.

No debe excluirse de lo anterior los efectos locales de contaminación atmosférica, debidamente comprobados en muchas regiones del planeta, tanto por industria como por agricultura tecnificada.

C. Aerosoles.

Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas con diámetros inferiores a 20  $\mu$ m en suspensión en la atmósfera; desempeñan un papel de gran importancia en el fenómeno de la condensación del vapor de agua. También pueden depositarse "en seco" por sedimentación o por impacto en el follaje de los árboles y plantas.

Las principales fuentes de aerosoles son los siguientes (Berner & Berner, 1987):

- Sales marinas procedentes de la superficie del océano

- Polvo procedente de suelos y rocas

- Productos de incendios forestales

- Aerosoles biogénicos producidos por las plantas

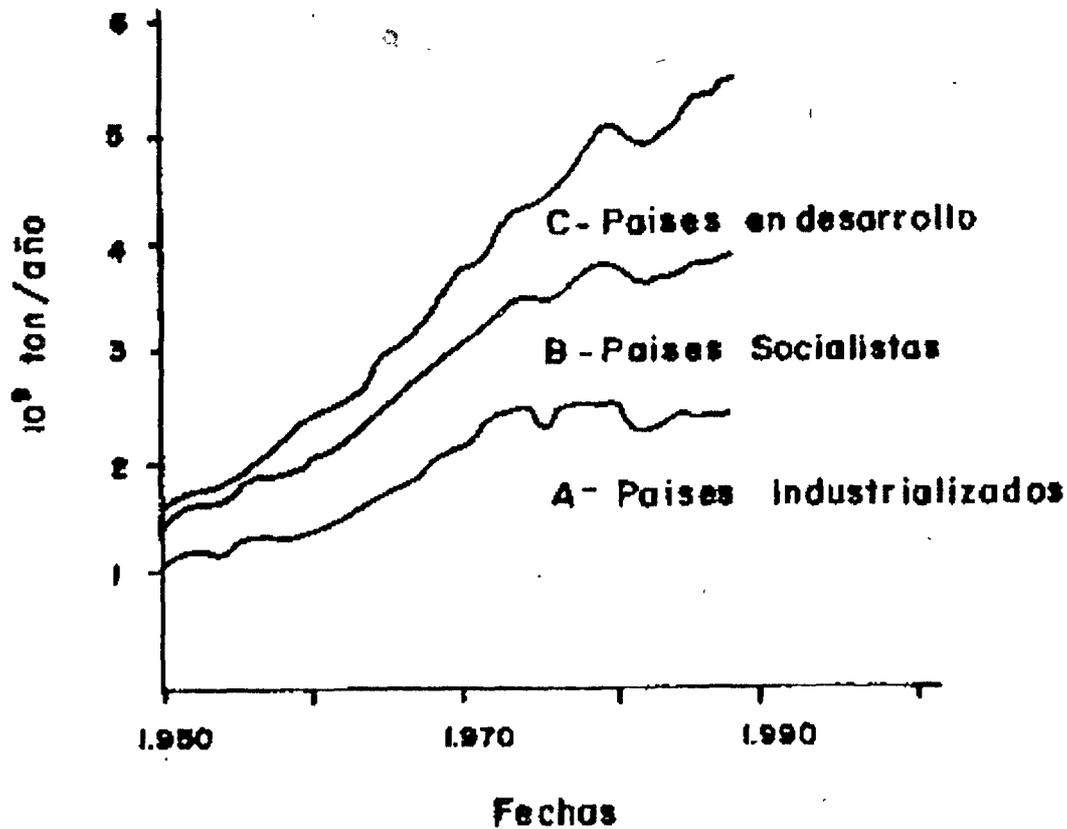


Fig. 7. Emisiones de carbono procedentes del uso de combustibles fósiles (Fuentes: Oak Ridge National Laboratory, World watch Institute, Horizontes Urbanos, Banco Mundial, v.14 no. 8, Oct. 1990).

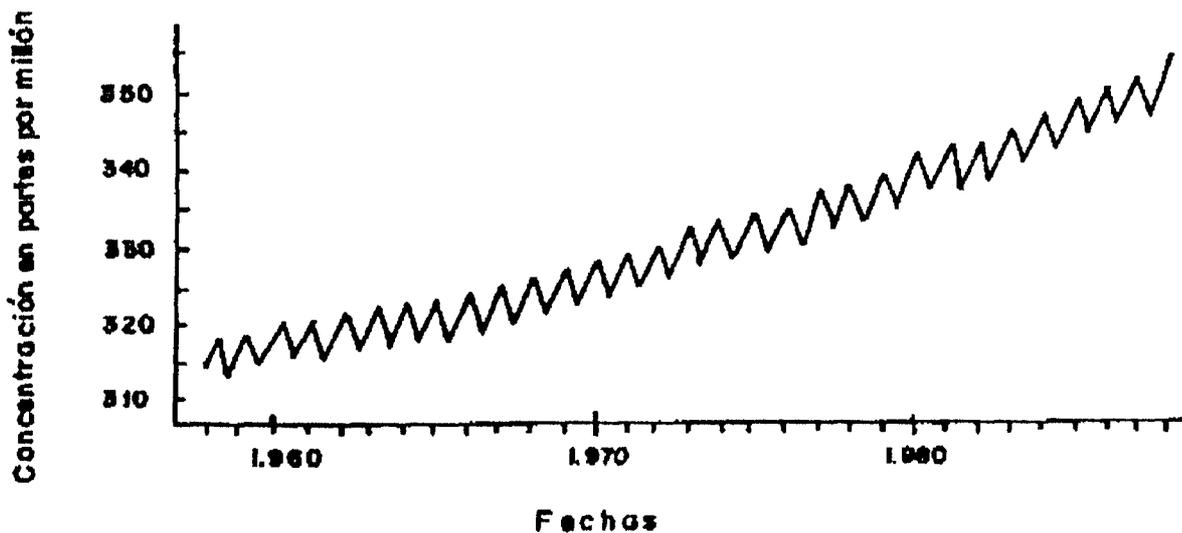


Fig. 8. Concentración de  $CO_2$  en la atmósfera medidas en Hawai (Maunaloa).  
Fuente: Episodes v.3 no. 1 p. 46

CUADRO Nº 1 . Consecuencias climáticas de algunos gases en la atmósfera

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CFC	O <sub>3</sub>	CO	H <sub>2</sub> O
PAPEL EN EL EFECTO INVERNADERO	CALENTAMIENTO	CALENTAMIENTO	CALENTAMIENTO	CALENTAMIENTO	CALENTAMIENTO	NINGUNO	CALENTA EN EL AIRE; SE ENFRIA EN LAS NUBES
EFFECTO SOBRE LA CAPA ESTRATOSFERICA DE OZONO	PUEDE AUMENTAR O DISMINUIR	PUEDE AUMENTAR O DISMINUIR	PUEDE AUMENTAR O DISMINUIR	DISMINUYE	NINGUNO	NINGUNO	DISMINUYE
PRINCIPALES FUENTES ANTROPOGENICAS	COMBUSTIBLES FOSILES ; DEFORESTACION	CULTIVO DEL ARROZ; COMBUSTIBLES FOSILES; QUEMAS	FERTILIZANTES CONVENSION U- SO DE LA TIERRA	REFRIGERANTES AEROSOLIS PROCESOS INDUSTRIALES	HIDROCARBUROS (CON NO <sub>x</sub> ) QUEMAS	COMBUSTIBLES FOSILES ; QUEMAS	CAMBIO USO DE LA TIERRA; RIEGOS
PRINCIPALES FUENTES NATURALES	BALANCEADOS EN LA NATURALIEZA	ZONAS HUMEDAS	SUELOS, SELVAS TROPICALES	NINGUNA	HIDROCARBUROS	OXIDACION DE HIDROCARBUROS	E VAPOTRANSPIRACION
TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA ATMOSFERA	50 - 200 años	10 años	150 años	60 - 100 años	SEMANAS A MESES	MESES	DIAS
CONCENTRACION ATMOSFERICA ACTUAL ppbvol / en superficie	353.000	1.720	310	CFCl <sub>11</sub> : 0.28 CFCl <sub>12</sub> : 0.48	20 - 40 (HEM. NORTE)	100 (HEM. NORTE)	3000 - 6000 EN LA ESTRATOSFERA
CONCENTRACION PRE-INDUSTRIAL 1750 - 1800	280.000	790	268	0	10	40 - 80	DESCONOCIDA
TASA ACTUAL DE AUMENTO POR AÑO	0.5 %	0.9 %	0.3 %	4 %	0.5 - 2.0 % (HEM. NORTE)	0.7 - 1.0 % (HEM. NORTE)	DESCONOCIDA
CONTRIBUCION RELATIVA AL EFECTO INVERNADERO ANTROPOGENICO	60 %	15 %	5 %	12 %	8 %	NINGUNA	DESCONOCIDA

TABAL No 4

ESTIMACION DE AEROSOLAS EMITIDOS O FORMADOS EN LA ATMOSFERA

(adoptado de Berner & Berner, 1987)

en Tg/año (Tg=10 g)

PROCEDENCIA	NATURAL	ANTROPOGENICO	% TOTAL
Polvo de suelos y rocas			
Transporte largo	500-900	?	35
(producción total)	(3000-4000)		
Sal Marina			
Transporte largo	540	-	27
depositado en tierra	(180)		
deposición total	(1800)		
Incendios forestales	6-11	72-139	6
Erupciones volcánicas	25-150	-	3
Partículas antropogénicas de emisión directa	-	10-90	2
Partículas formadas a partir de emisiones gaseosas:			
Sulfato a partir de H <sub>2</sub> S	115	-	6
Sulfato a partir de SO <sub>2</sub>	-	100	5
Nitratos a partir de NO <sub>x</sub>	30	75	5
Amonio a partir de NH <sub>3</sub>	2	26	1
Hidrocarburos: aerosoles biogénicos	75-200	-	7
combustibles fósiles	-	15-90	3
Total aproximado	1293-1948	298-520	
	80%	20%	100%

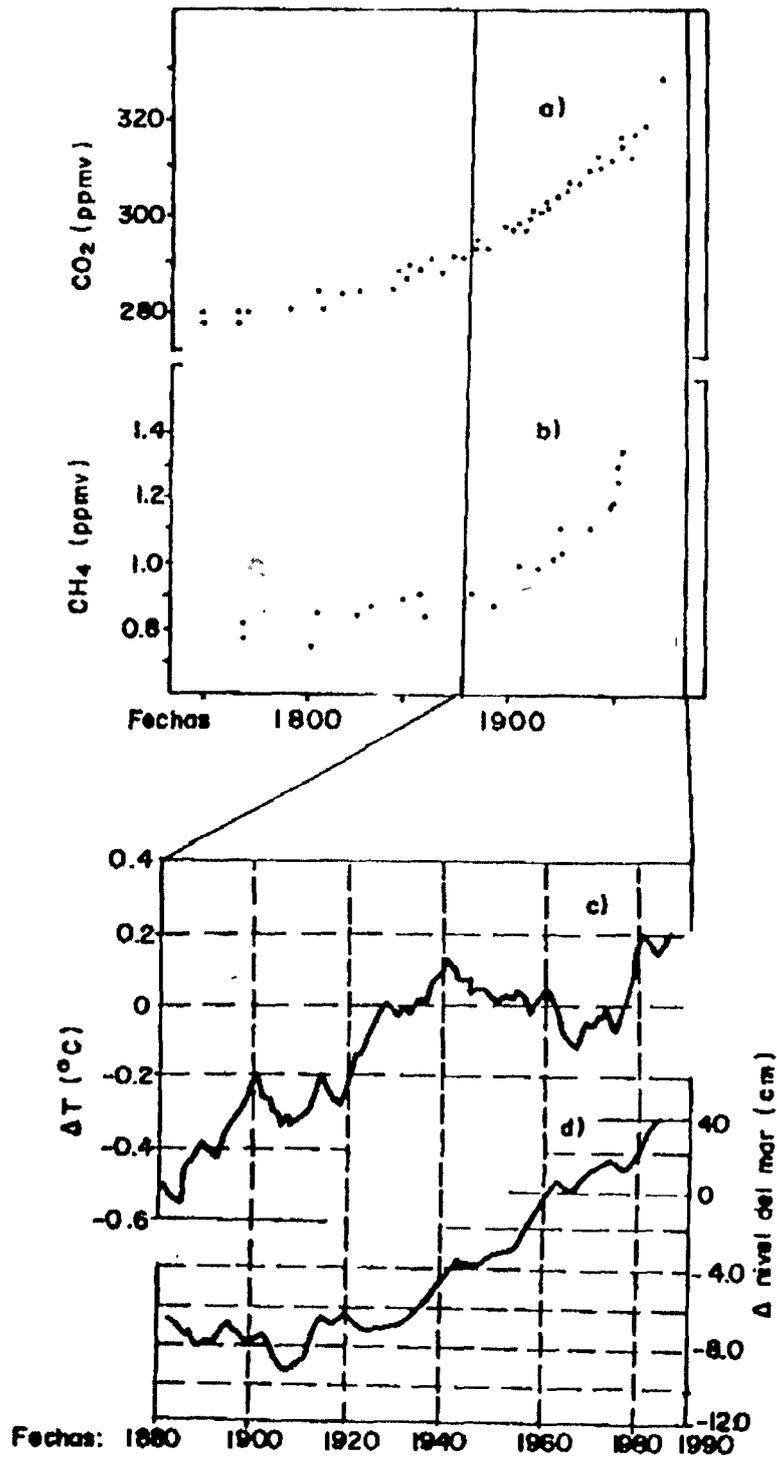


Fig. 9. El registro de los cambios globales durante los últimos 150 años.

a) y b) : Concentraciones medidas en muestras de gases en el hielo de la W Antártida.

c) y d) : Variación de la temperatura y del nivel del mar. El valor 0 es el promedio para el período 1951-1970.

Adaptado de IGBA Report 12 1990

- Emisiones gaseosas que se transforman en partículas
- Partículas sólidas producidas por actividades humanas (combustión, industria, etc.).

No se sabe cual puede ser la importancia de la influencia humana en la producción de polvo procedente de los suelos y de las rocas.

Es interesante anotar que una de las mayores erupciones volcánicas conocidas, la del Krakatoa en 1883, arrojó  $25 \times 10^{15}$  g de material sólido a la atmósfera, unas 300 veces la cantidad calculada anual promedio. La contribución, antropogénica estimada es de 20% de la producción total de aerosoles.

#### D. Lluvias.

Con el fin de permitir comparaciones como análisis efectuados sobre muestras tomadas en zonas contaminadas, se dan en la tabla 4 los análisis disponibles para el continente suramericano.

Puede ser difícil distinguir la procedencia de los iones disueltos en las aguas lluvias; los siguientes son algunos ejemplos:

- El sodio puede provenir del mar, de los suelos (polvo) o de la quema de vegetación.
- El calcio también puede tener las 3 fuentes anteriores y además provenir de uso de combustibles o de fabricación de cemento.
- El cloro puede ser de origen marino o industrial.
- El ión sulfato proviene del mar, de la descomposición de la vegetación, de los volcanes, de los suelos y de la combustión artificial de combustibles y de bosques.
- El ión nitrato de las descargas atmosféricas, de descomposición orgánica, del uso de combustibles fósiles, de la quema de bosques y de fertilizantes (Berner & Berner, 1987).

Se han publicado recientemente buenas

síntesis sobre el "estado del arte" en cuanto a contaminación de la atmósfera en áreas urbanas (Seinfeld, 1989) y las lluvias ácidas (Schwartz, 1989), que ponen en relieve las carencias que aún caracterizan los conocimientos al respecto.

Muchos científicos (IGBP, 1990; Schneider, 1989) abogan por la toma de decisiones políticas a nivel global con el fin de empezar desde ahora un control sistemático de las emisiones de sustancias que contribuyen al efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.

Sin embargo una comprensión clara de los cambios climáticos es aún una meta lejana, por la complejidad de los factores involucrados. Si bien es cierto que la combinación de variables básicas propuesta por Milankovich a principios del siglo (inclinación del eje de rotación de la tierra, cambios en la excentricidad orbital y precesión) son hoy en día aceptados como las causas de las fluctuaciones climáticas mayores, con períodos de 100 000 años, aún quedan muchas variaciones menores por explicar.

La fig. 10 establece para el último cambio climático importante Wisconsin a Holoceno) una relación entre los parámetros involucrados (Broecker & Denton, 1990):

- Nivel de la acumulación de nieve en las montañas
- Dióxido de carbono en la atmósfera
- Iniciación en el Atlántico Norte de una corriente profunda de aguas saladas y frías que se constituye en reguladora del clima. Esta corriente se interrumpe hace unos 10.000 años por el desagüe a través del Río San Lorenzo de un gigantesco lago de aguas dulces que estaba situado en el centro norte del continente norteamericano, lo que significa un brusco enfriamiento de las aguas del Atlántico, que dura uno 1000 años:
- Espesor de las capas de hielo continentales
- Presencia de polvo en la atmósfera

La interrelación entre las diferentes variables es algo que apenas está empezando a conocerse, pero la complejidad de los procesos es algo que plantea aún grandes interrogantes para la inteligencia humana.

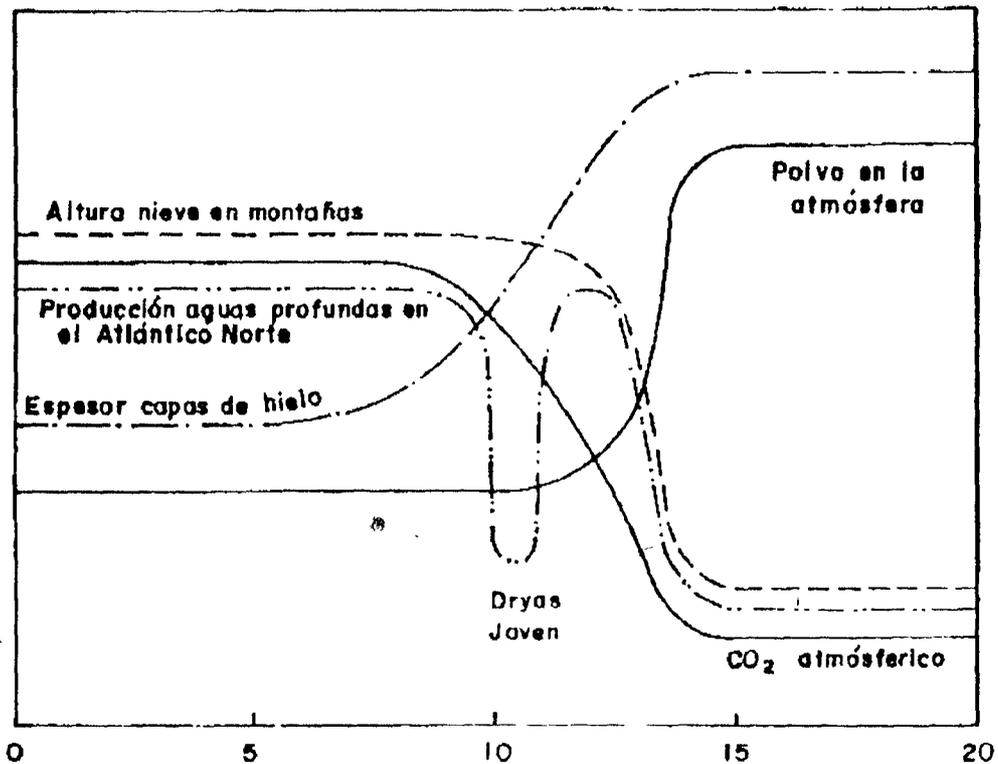


Fig. 10. Situación de diferentes variables al final de la última glaciación (adaptado de Broecker & Denton, 1990)

TABLA No 5

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	pH
Cuenca Amazonas (1)	0.285	0.039	0.029	0.044	0.49	0.49	0.13	-	5.03
Rio Amazonas (2)	0.50	0.020	0.036	0.028	0.87	0.64	0.19	0.002	4.71
Rio Amazonas 3	0.23	0.039	0.024	0.056	0.30	0.55	0.25	0.007	5.32
Rio Amazonas 4	0.21	0.035	0.034	0.060	0.41	0.70	0.18	0.000	4.97
Rio Amazonas (5)	0.12	0.094	0.012	0.056	0.24	0.56	-	-	5.06
Rio Amazonas (6)	0.23	0.012	0.012	0.008	0.39	0.28	0.056	-	5.31
Perú (7)	0.039	0.039	0.020	0.184	0.12	0.18	-	-	5.67
Venezuela (8)	2.2	0.6	0.7	1.14	2.6	2.2	0.2	0.3	-
Venezuela (9)	0.04	0.03	0.01	0.01	0.09	0.14	0.16	0.04	4.81
Colombia (10)	0.18	0.47	0.43	1.45	2.80	-	-	-	6.12

(1) valor promedio; (2) a (7): muestras tomadas a distancia del Océano Atlántico de 670, 1700, 1930, 2050, 2230 y 3000 km respectivamente.

(8) muestra tomada cerca de la costa; (9): San Carlos, selva pluvial

(10) San Carlos, Antioquia.

(1) a (9): Berner & Berner, 1987.

(10) Jurado, 1988

## **BIBLIOGRAFIA**

Alvarez, L. W., Alvarez, L. Asaro, F. & Michel, M.V., 1980. Extra-territorial cause for the Cretaceous-tertiary extinction Science, v. 208, p. 1095-1108.

Axelrod, D., I., 1981. Role of volcanism in climate and evolution Geol. Soc. America Special Paper 185. 59p. Berger, W.H., 1985. CO<sub>2</sub> increase and climate prediction: clues from deep sea carbonates. Episodes. v. 8, No. 3, p. 163-168.

Booth, W., 1990. New models chill some predictions of severely overheated Earth. The Washington Post, reprinted by Episodes, v. 13 (1) p. 46-47.

Botkin, D.B., 1989. Science and the global environment. In: Changing the Global Environment., D.B. Botkin, M.F. Caswell, J.E. Estes & A.A. Orio, Editors. Boston, Academic Press, p. 37-48.

Bulletin of the Global Volcanism Network, 1990, Colombia, v. 15, No. 8, p.5.

Brune, W.H., 1989. Stratospheric ozone and the case against chlorofluorocarbons Earth and Mineral Sciences, v. 58, No. 4, p. 57-64.

Cook, R., 1984. Major biogeochemical cycles and anthropogenetic changes. Episodes, v. 7 (2), p.3-7.

Crandell, D.R., Booth, B., Kazumadinata, K., Shimozoru, D., Walker, G.P.L & Westercamp, D., 1984. Source-book for volcanic hazards zonation. París: UNESCO.

Clarke, F.W. & Washington, H.S., 1924. U.S. Professional Paper 127.

Holland, H.D., 1984. The chemical evolution

of the atmosphere and oceans Princeton, N.J.: Princeton University Press, 528p.

Huffman A.R., 1990. An endogenous mechanism for extinctions Geotimes, v. 35, No. 8, p. 16-17.

Jurado, J.L., 1988. Comportamiento hidrológico y meteorización química en una cuenca del Batolito Antioqueño. Tesis Megister Aprovechamiento Recursos Hidráulicos, Fac. Minas, U. Nacional, Medellín, 186p.

Lochhead, C., 1990. Global warming forecasts may be built on hot air. Insight, April 16, 1990, p. 14-18.

Méndez, R.A., 1987. Mediciones de la emisión de gases volcánicos en el Volcán Nevado de Ruíz con el COSPEC. Revista CIAF, v. 11, p. 115-126.

McElroy, M.B. & Salawitch, R.J., 1989. Changing composition of the global stratosphere Science, v. 243, p. 763-770.

Palais, J.M. & Sigurdsson, H., 1989. Petrologic evidence of volatile emissions from major historic and pre-historic volcanic eruptions. In: derstanding climatic change, A. Berger, R.E. Dickinson & JW Kidson, Editors. AGU Geophysical Memoir 52; IVGG vol. 7, p. 31-53.

Pickering, R.J., 1987 Acid Rain. Open-file Report 87-0399, U.S. Geological Survey.

Schneider, S.H., 1989. The greenhouse effect: Science and policy Science, v. 243, p. 771-781.

Schwartz, S.E., 1989. Acid deposition: unraveling a regional phenomenon Science, v. 243, p. 753-763.

Skinner, B.J. & Porter, S.C., 1987. Physical Geology. New York, J. Wiley & Sons, 750p.  
Westbrock, P., 1989. The impact of life on the planet Earth: some general considerations. In: Changing the Global Environment., D.B. Botkin. M.F. Caswell, Boston, Academic Press, p. 37-48.

---