

# **EFFECTO DE LA ACTIVIDAD HUMANA SOBRE EL CAMBIO GLOBAL DEL CLIMA**

**Ing. Agr. JUAN J. BURGOS**

Académico de Número

## **I. COMO ES POSIBLE LA VIDA DEL HOMBRE SOBRE LA TIERRA**

Desde que el Hombre se reconoce a sí mismo como ser racional sobre la Tierra, enfrenta un dilema existencial, que puede simplificarse en las preguntas: ¿de dónde provengo? y ¿a dónde voy?, o en otras palabras: ¿por qué y para qué vivo? La percepción abstracta de hechos naturales como el orden, la belleza, el heroísmo y la caridad, entre otros, lo ha llevado a integrarse por libre elección en una de las dos grandes vertientes en que pueden dividirse las religiones o creencias que han existido en el pasado, y aún en las que perduran en el presente: la de la causalidad o la del casualismo. La elección ante este dilema es hasta hoy, por lo tanto, un acto de fe y la ciencia experimental no puede contestar estas preguntas.

Sin embargo, el conocimiento científico acumulado ha permitido descubrir cómo es posible la vida del Hombre sobre la Tierra y cómo se podría destruir esa posibilidad en el futuro. Ante este nuevo dilema contemporáneo, el Hombre deberá elegir, con pleno conocimiento y responsabilidad el destino de la vida en el planeta.

### **1. Límites homeostáticos de la vida terrestre**

La vida del Hombre como ser organizado depende de condiciones físicas externas, variables sólo entre ciertos

límites. El organismo humano posee mecanismos internos para acomodarse a estas variaciones, que le permiten mantener sus funciones en una forma cuasiestable; temperatura corporal, presión arterial, ritmo respiratorio y cardíaco, etc., que Cannon (1939), denominó "Homeostasis".

El hombre, a su vez, con otros organismos vivientes integra ecosistemas y biomas que, frente a las variaciones de las condiciones físicas externas, también tienen su propia homeostasis (Odum, 1971; Holling 1978). Para el conjunto de ecosistemas, que intercambian masa y energía con la superficie terrestre y la atmósfera adyacente, y componen la Biosfera de Verdnasky, (1926 y 1929), Lovelock y Margulis, (1974) y Lovelock (1979) han propuesto, en forma semejante, un sistema homeostático que denominan GEA o GAIA.

Esto no significa que, si bien los sistemas homeostáticos permiten establecer el equilibrio de sus funciones internas, tales variaciones no tengan límites que se puedan sobrepasar sin peligro de destruir en forma irreparable al mismo sistema.

La vida de la Tierra, en la forma que se la conoce hoy y también en su pasado, dependió básicamente de la energía solar para su renovación y evolución. Sin embargo, para que esa energía pueda utilizarse en los procesos biológicos, debe ser transformada adecuadamente para que tanto ella, en forma directa, como sus efectos secundarios sobre el sistema climático, no

traspasen los estrechos límites de tolerancia homeostática propios de las formas de vida individuales o asociadas.

## 2. La radiación solar y la vida

La superficie solar, por hallarse a una temperatura media próxima a 6.000°K, emite energía en un espectro continuo, que se extiende desde fracciones de nanómetro, con su máximo de intensidad centrado aproximadamente en los 470 nm, hasta centenares de metros de longitud de onda. La porción del espectro de menor longitud de onda, inferior a 200 nm, la componen radiaciones de alta energía que son absorbidas totalmente por las capas superiores de la atmósfera y que son letales para toda forma de vida: rayos X y  $\gamma$ , y las que se denominan ultravioletas lejanas o UVC ( $< 200$  nm, Cuadro Nº 1). Las radiaciones UV medias o UVB, llegan a la superficie terrestre en forma atenuada, en relación con las que llegan a la atmósfera superior, pues son absorbidas en buena parte por la capa de ozono.

Las radiaciones entre 200 y 310 nm, quedan absorbidas, prácticamente, en la estratosfera, pero la penetración de la UVB a nivel del suelo empieza en  $\sim 300$  nm y aumenta en magnitud hasta los 320 nm, donde comienza la zona de UV cercana (UVA), (Cuadro

Nº 1). Estas radiaciones pueden ser dañinas para las formas vivientes.

La vida es posible en la Tierra porque en la atmósfera se forma un escudo, que la protege de la radiación agresiva del sol, constituido por una capa de ozono que alcanza su máxima concentración entre los 20 y 40 km de altura desde la superficie terrestre y que absorbe buena parte de la radiación UV. Sin embargo la alta ionización de capas superiores, como la que se ubica por encima de los 60 km, produce una fuerte absorción de las radiaciones de menor longitud de onda como los rayos X y  $\gamma$ , y de las ultravioletas inferiores a 200 nm. En ella esta fuerte absorción se debe más que al  $O_3$ , al  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $N_2O$  y N. La transformación del  $O$  y  $O_2$  a  $O_3$  se produce por una reacción fotoquímica.

La intensa absorción producida por la capa de máxima concentración de  $O_3$  provoca, a su vez, una elevación de la temperatura que culmina en la estratopausa (20°C) alrededor de los 50 km de altitud. La característica de inversión de temperatura de esta capa, con muy bajas temperaturas en la base y altas temperaturas en la parte superior, le confieren una gran estabilidad dinámica, o en otras palabras, un muy bajo coeficiente de mezcla (Fig. Nº 1).

## 3. Regulación de la temperatura terrestre y la vida

Si bien el escudo protector de radiaciones solares dañinas hace posible la vida en el planeta, no es la única condición indispensable para la misma. Los organismos vivientes también requieren temperaturas que no traspasen sus límites de tolerancia homeostática. Los organismos poikilotermos, sin mecanismos fisiológicos de termo-regulación, como los insectos, reptiles y bacterias, entre otros, tienen por lo general límites más amplios de tolerancia a la variación de la temperatura exterior, que los homeotermos como el Hombre, que regulan su temperatura alrededor de un nivel más o menos constante. La vida sobre la Tierra resulta posible por la existencia de un mecanismo que modera la temperatura de su superficie, dentro de los límites

	DIMENSION nm	RADIACIONES
LEJANA	$< 1$	RAYOS X y $\gamma$
	$> 1$ - 200	U.V. LEJANA (C)
TRANSICION EN ALTURAS DE	$> 200$ - 305	
RAJADA	$> 305$ - 310	U.V. MEDIA (B)
HEMISFERIO Y CIRCUNDA DE ALGUNAS	$> 310$ - 315	
	$> 315$ - 325	U.V. CERCAÑA (A)
	$> 325$ - 365	

Cuadro Nº 1: Efectos biológicos de la radiación solar con longitud de onda  $< 365$  nm.

de su tolerancia y que se conoce como efecto invernáculo de la atmósfera.

El invernáculo es un antiguo sistema de construcción en horticultura, que consiste en un receptáculo transparente a la luz solar, que mantiene un volumen de aire casi aislado del que circula en el exterior. El propósito principal es atenuar las variaciones extremas de la temperatura externa, instantánea, diaria y estacional, aún cuando de ello resulte también una conservación de la humedad.

Los primeros análisis del efecto del invernáculo atribuyeron como causa de la moderación de las bajas temperaturas interiores, al cambio del balance de radiación que en esa estructura se establece, en comparación con el exterior. Esto se basó en que el vidrio común es transparente a la radiación luminosa del sol de onda corta ( $R_{oc}$ ), que es absorbida por el suelo interior y la estructura del invernáculo el que a su vez reirradia su energía en onda larga ( $R_{ol}$ ) hacia su hemisferio superior. Por otra parte el vidrio tiene una capacidad calórica muy baja, de modo que su absorción y calentamiento son de poca magnitud, por lo que también lo es su emisión hacia el exterior. Así, la mayor parte de la radiación interior se ve impedida de salir porque el vidrio es prácticamente opaco a la onda larga. Sin embargo, a partir de la clásica monografía de Wood (1909), confirmada posteriormente por abundante bibliografía, quedó establecido que el confinamiento controlado del calor sensible ( $H_i$ ) interno del balance de energía del invernáculo, es tanto o más importante que el simple efecto del balance de radiación (Fig. N° 2). Esto se confirma en el auge que hoy tienen los invernáculos de plástico mucho más económicos, en los que este material es transparente a la  $R_{ol}$  y solamente operan con el  $H_i$  atrapado en forma controlada por la estructura.

La relativamente delgada capa que es la troposfera, de 10 a 15 km de altura, ofrece sobre la Tierra el mismo efecto cualitativo que el invernáculo, pero con algunas diferencias dimensionales o cuantitativas. El efecto del vidrio común transparente a la  $R_{oc}$  que recibe el invernáculo y opaco a la

$R_{ol}$  del interior del mismo, se puede comparar al de la atmósfera que absorbe muy poca energía radiactiva ( $R_{oc} > \lambda$  a 280 nm), y calienta la superficie de los continentes y océanos; y ellas así calentadas reirradian  $R_{ol}$  hacia el espacio, que es absorbida en toda la extensión de la troposfera por los gases, vapores y aerosoles que contiene, principalmente por  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  y  $O_3$ , entre otros. La atmósfera así calentada reirradia energía en todas direcciones, por lo cual la superficie terrestre recibe de nuevo aproximadamente la mitad de su energía emitida ( $R_{ol}$ ), como contraradiación atmosférica.

El efecto mecánico del vidrio del invernáculo, que impide la fuga del  $H_i$  hacia el espacio exterior, lo constituyen la tropopausa y la fuerte inversión de la estratosfera, que no permite la mezcla turbulenta entre estas dos capas tan diferentes termodinámicamente y, con ello, el flujo de calor sensible hacia el espacio. Esta energía se propaga así por convección local entre el techo (tropopausa), y la superficie, pero luego debido al gradiente meridional de temperatura entre los Polos y el Ecuador, a los campos de presión semipermanentes formados sobre los continentes y océanos, a los movimientos de la Tierra y a la rugosidad de su superficie, se forma la compleja circulación general de la atmósfera, elemento básico generador del clima. Con ello se conforma en la troposfera un verdadero y eficaz abrigo para la Tierra. La magnitud del efecto invernáculo sobre la Tierra se ha estimado en + 33 °C, es decir que si no existiera la atmósfera con sus gases que pueden absorber  $R_{ol}$ , la temperatura media de la Tierra, que se puede estimar en 15 °C, se establecería en - 18 °C y con ello la vida no sería posible. La extraordinaria atmósfera del planeta Venus muy rica en vapor de agua y  $CO_2$ , se estima que le produce un efecto invernáculo de + 450 °C y la escasamente húmeda y pobre en  $CO_2$  de Marte, uno análogo de sólo + 5 °C.

## II. DETERIORO DEL MEDIO O AMBIENTE HUMANO

### 1. El Hombre percibe la contaminación

La conservación del medio ambiente humano es una preocupación generalizada en este fin de siglo, debido a los signos evidentes de su deterioro. Esto ha sido detectado y, en algunos casos, evaluado por investigadores o equipos de ellos, aunque no siempre adecuadamente difundido por los medios masivos de comunicación.

Tal vez la contaminación urbana ha actuado como detonante para el surgimiento de esta nueva preocupación de la humanidad. Las grandes urbes concentran la mayor parte de la sociedad y en ellas la comunicación es más eficiente. La calidad del aire que se respira y del agua que se bebe, los desperdicios que se acumulan y el incremento de las tensiones psíquicas y sociales, hacen cada vez más notable el deterioro del ambiente urbano. Por ello, muchos longevos añoran la vida en las aldeas de sus infancias y los más jóvenes, buscan con ansia el contacto con la naturaleza silvestre.

Sin embargo, aparte de la contaminación urbana mencionada, existe otra que, por sus efectos, se podría denominar "contaminación global del planeta Tierra", menos perceptible por el hombre común, de la cual existe una conciencia generalizada desde hace pocos años. Los medios de comunicación han divulgado, orincipalmente, las nocivas consecuencias de la disminución del ozono y, con menor frecuencia, las del aumento del efecto invernáculo en la atmósfera.

Si bien la contaminación urbana, en buena medida, contribuye a la global planetaria, debería sernos menos preocupante que esta última. Esta afirmación se basa en que la contaminación urbana puede ser moderada, o aún extinguida, mediante una racional planificación urbanística, o por la acción de la comunidad municipal. En cambio, la contaminación global escapa de tales controles y, generalmente, del control de un país o grupo de países, aún cuando los efectos deben ser soportados por todo el planeta. Esta parte de la comunicación se circunscribirá especialmente a la más preocupante contaminación global del planeta Tierra.

Aunque la inquietud por la alteración del ozono y del aumento del efecto in-

vernáculo de la atmósfera, estuvo presente en la mente de algunos científicos desde casi el fin de la Segunda Guerra Mundial, sus causas y consecuencias y, mucho más, el conocimiento vulgar del problema, distaban mucho de ser exactos.

El Año Geofísico Internacional (AGI), instituido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), en 1957-1958 convocó a un esfuerzo mundial en el que cada país se comprometiera voluntariamente para hacer observaciones y relevamientos sistemáticos y simultáneos durante ese año, para esclarecer principalmente los siguientes problemas:

1. La circulación general de la atmósfera.
2. La composición química de la atmósfera. Este proyecto incluía el estudio de la variación temporal y espacial del ozono en la atmósfera.
3. Balance de energía del sistema Tierra-Atmósfera, que significaba una evaluación del efecto invernáculo de la Tierra.

Este esfuerzo voluntario no fue uniforme en todos los países comprometidos, no obstante lo cual se obtuvieron resultados parciales valiosos que han ayudado a esclarecer estos importantes problemas geofísicos.

## **2. Destrucción antropogénica del Escudo de Ozono estratosférico**

Posteriormente al AGI, la preocupación del deterioro del medioambiente llegó al seno de la Organización de las Naciones Unidas, que en 1972 programó la Conferencia Mundial del Medioambiente, en Estocolmo, en la cual se originó el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Esta Conferencia, realizada en pleno auge de la "guerra fría" entre los países occidentales y los que conformaron el Pacto de Varsovia, consideró un documento que expresaba el temor de que las operaciones bélicas y el aumento de la aviación supersónica, pudieran originar sustancias que afectarían la capa de ozono estratosférico.

rica. Sin embargo, de esa Conferencia no resultó ninguna acción concreta sobre este problema. En 1974, tuvimos la ocasión de conocer en Beltsville, EE. UU., estudios pioneros realizados allí sobre los efectos morfológicos y genéticos de distintas bandas del espectro de la radiación ultravioleta, y la toxicidad del O<sub>3</sub>, sobre especies vegetales.

En forma simultánea con esta preocupación, Sherwood Rowland y Mario Molina iniciaron en Berkeley, Universidad de California, un estudio sobre la distribución del ozono estratosférico y el efecto catalizador de los iones Cl del Cloro-Fluor-Carbono (C1 F C) (Molina y Rowland, 1974). En éste llamaron la atención sobre la gran estabilidad química que alcanzan estos gases en la troposfera (10-15 km de altura) y, a la vez, la gran facilidad con que son descompuestos por reacciones fotoquímicas en la estratósfera. Señalaron dos reacciones de este efecto catalizador de destrucción del ozono, pero tanto la comunidad científica, como la industria norteamericana dudaron en aceptar tales resultados. Sin embargo, investigaciones posteriores han confirmado plenamente esa hipótesis y hoy se conocen ya unas 200 reacciones que provocan este mismo efecto.

En 1977, investigadores británicos descubrieron los insólitos valores bajos de O<sub>3</sub> estratosférico en la Antártida, llamado después "agujero del ozono", aunque no dieron crédito correcto a su descubrimiento. Se atribuyeron a fallas de instrumental porque no coincidían con los valores correspondientes a los modelos matemáticos unidimensionales de su variación, establecidos previamente. Sin embargo, investigadores del British Antarctic Survey al realizar mediciones en la Bahía Halley en Octubre de 1982, volvieron a medir valores extremadamente bajos de O<sub>3</sub>, que fueron luego confirmados en la misma época de 1983-1984. Estos resultados fueron luego publicados por Farman et al., Nature en Mayo de 1985. Este hallazgo conmovió a la comunidad científica mundial. La NASA revisó los archivos de los registros del satélite NIMBUS 7, cuya salida impresa se ha-

bía programado desechando valores tan bajos por considerarlos erróneos, y se pudieron confirmar los valores reales de esta singular anomalía y su tendencia desde 1978.

El PNUMA, que ya había movilizado el interés de científicos en estos estudios, encontró en tales descubrimientos el fundamento sólido para interesar a los gobiernos de la comunidad mundial en una acción concertada, con el fin de evitar el desastre ecológico que significaría la destrucción del ozono estratosférico. Tal vez, también haya que considerar en este contexto el papel de los medios masivos de comunicación, que contribuyeron a despertar lo que el destacado químico ecólogo galés Lovelock irónicamente ha referido como el "temor al cáncer de los rubios". Como consecuencia de todo ello, en la última década, se han conseguido importantes sumas de dinero para investigar sobre las causas y consecuencias del cambio global del clima de la Tierra inducido por el hombre.

El Protocolo de Montreal (IX-1987), concertado por el PNUMA, fue el primer acuerdo internacional que procuró limitar la emisión de contaminantes atmosféricos a partir del 1º de Agosto de 1989, entre los cuales se fijaron 5 especies de Cl F Cs y 3 de halógenos, y se convino el cese de fabricación de estos compuestos para el año 2000. En este mismo sentido, y para obtener una acción más enérgica en la reducción de contaminantes, el Gobierno Británico y la UNEP, convocaron a una reunión en Londres en 1989. Del mismo modo, los países firmantes del Protocolo de Montreal revisaron los resultados alcanzados por el mismo en la reunión de Helsinki en Mayo de 1989.

Poco después de la firma del Protocolo de Montreal recién se conocieron los resultados del notable Experimento Aéreo Antártico del Ozono, realizado durante la primavera de 1987, que con gran apoyo de medios e investigadores y con base en Punta Arenas, Chile, pudo comprobar la evolución del Agujero de Ozono Antártico. En él se verificó que las causas del mismo eran: el pre-

ponderante efecto de los Cl F Cs, halones y NOx, las extremadamente bajas temperaturas de la alta troposfera que allí se registran y la singular circulación regional que determina el vórtice antártico, favorecido en su formación por el relieve de ese continente. Posteriormente, al comienzo del año 1989, la NASA realizó un esfuerzo similar en el Artico, que permitió establecer también una pronunciada disminución de O<sub>3</sub> en esas latitudes, debida a los mismos contaminantes de la atmósfera, a pesar de ciertas diferencias en la circulación atmosférica, comparadas con las del Hemisferio Sur, (H.S.).

De esta manera, hoy se conoce que el Agujero de Ozono es un fenómeno creciente, con un ritmo estacional que alcanza su máxima intensidad en la primavera, cuando termina la prolongada noche del invierno polar y las temperaturas estratosféricas llegan regularmente a sus valores mínimos; que su tendencia sigue en descenso hasta el presente por lo que se descarta que tenga un ritmo undecenal como el de las máculas solares. De 300-400 unidades Dobson, que pueden considerarse como medias de toda la capa del ozono estratosférica, se llegó en la primavera de 1987 a valores inferiores a las 150 u. Dobson<sup>(1)</sup>. En las latitudes ecuatoriales, donde la atenuación del ozono es mínima, se pudo apreciar entre 1978 y 1987 una disminución promedio de 1.1 % anual, mientras que a 53° L.S., que corresponde a la de Tierra del Fuego, una de casi 5 % anual. Resulta paradójico, aunque se explica por razones físicas, que en el Hemisferio Norte (H.N.), cuyos países son los principales responsables de este daño, en los 53° L.N. sólo se experimentó una disminución del 2.7 % anual en ese mismo período. Esta anomalía tiene, además, una extensión superior a los 9 millones de kilómetros cuadrados y una profundidad de más de 7 kilómetros; por lo cual afecta a buena parte del continente antártico y ya prolonga su influencia a las porciones sur de Argentina y Chile.

(1) En Octubre de 1990 los valores mínimos del Agujero del Ozono Antártico llegaron a 125 u. Dobson.

Hoy se ha confirmado que un aumento de la UVB sobre la superficie terrestre, además de los perjuicios señalados en el Cuadro 1, traerá aparejado un aumento del carcinoma de piel en el hombre y en los animales, catarata ocular, destrucción del efecto inmunológico por afectación del ADN, profundos cambios en el fitoplancton de la zona eufótica en el océano y en las aguas continentales, con los consecuentes efectos sobre los ecosistemas continentales y oceánicos.

Todo ello confirma el grave peligro que, para el conjunto de las formas vivientes de la Tierra, significaría la destrucción o el debilitamiento del escudo de ozono; sin embargo, no sólo es éste el único efecto dañino que ya se conoce, sino que además la destrucción o deterioro de la capa de ozono significará un enfriamiento de la estratosfera y en consecuencia un cambio de su estabilidad termodinámica. Esto afectará las condiciones físicas del techo del invernáculo terrestre y de la circulación general de la troposfera.

### **3. Aumento de los gases con efecto invernáculo en la troposfera**

La preocupación por las consecuencias de un incremento del efecto invernáculo sobre la Tierra, no se ha propagado tan rápidamente como el temor a la disminución del ozono. Sin embargo, debería ser, y seguramente lo será en el futuro, tanto o más preocupante que la referida disminución. En este caso, también las primeras advertencias provinieron de investigadores aislados, desde poco después de la Segunda Guerra Mundial (Callendar, 1940; Brooks, 1951; Glueckhauf, 1951; Budyko, 1969).

La O M M, por su parte, fue el organismo internacional que originariamente estimuló el desarrollo del conocimiento de causas y consecuencias del calentamiento global de la Tierra, por el efecto invernáculo. Así, la 3ra. Sesión de la Comisión de Climatología de la O M M, reunida en Londres (1960), estableció un Grupo de Trabajo para el estudio de las fluctuaciones climáticas, resolución que fue apoyada en el Simposio de Roma sobre Cambios Climáti-

ccs en 1961 y cuyo informe se conoció en 1966.

La primera Conferencia Mundial del Clima, organizada por la OMM en 1979, estuvo principalmente orientada hacia los aspectos causales y consecuentes de futuros cambios climáticos en la Tierra y señaló la conveniencia de realizar una tarea permanente en la Organización Meteorológica Mundial, sobre este importante problema para la sociedad humana. Como resultado de esta proposición, el VII Congreso de la OMM creó en 1980, por su Resolución Nº 29, el Programa Mundial del Clima. Este programa generó a su vez, el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (PICC), dividido en sectores integrados por destacados especialistas de diversos países, cuyos informes se analizarán en la 2da. Conferencia Mundial del Clima en 1990. Será necesario incluir aquí otros organismos internacionales, que han promovido la investigación y foros de discusión sobre el cambio global climático como SCOPE, IHP, IGBP y IIASA, entre otros.

No obstante el efecto multiplicador del trabajo realizado por los organismos internacionales, debe considerarse la importancia de la acción de investigadores y países aislados, que con eficacia han nutrido la acción de aquellos. A partir de las primeras observaciones, obtenidas desde fines de la Segunda Guerra Mundial, sobre las consecuencias del aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se originaron investigaciones basadas en medidas continuas de éste y otros gases con efecto invernadero. En ellas se ha confirmado el incremento de los mismos en las últimas décadas por el aumento de la población humana y del consumo debido a necesidades reales y artificiales. De este modo se fijó como objetivo investigar principalmente sobre los incrementos de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y los C1-F-Cs.

Fue así que con el objeto de evitar el efecto urbano y local de los centros industriales, los EE.UU., en la década de 1950, decidieron la Instalación del Observatorio de Mauna Loa (3397 m.s.n.m.) de Hawaii, en el centro del Pacífico Tropical. En este observatorio se ha registrado el contenido de CO<sub>2</sub>

desde 1958 hasta el presente. De tales observaciones se ha divulgado en muchos trabajos y manuales científicos el registro de la Fig. Nº 3A, que muestra la variación anual y la tendencia de aumento de este gas en la troposfera en las últimas cuatro décadas. En ella se puede observar que desde 1958 hasta 1986, el contenido anual medio de CO<sub>2</sub> pasó de 320 ppmv a 345 ppmv es decir un aumento aproximado en las últimas décadas del 0,3 % anual (Keeling et al., 1986).

Medidas realizadas en Australia del CO<sub>2</sub> sobre muestras de aire tomadas en vuelo por aviones comerciales durante 10 años, (Pearman et al., 1983), (Fig. Nº 3B), y otras sobre el Polo Sur (Keeling et al., 1986), (Fig. Nº 3C), confirman la misma tendencia de aumento y los valores actuales de 345 ppmv. Estos valores demuestran dos hechos muy evidentes. En primer lugar, la rapidez con que se propagan los contaminantes por toda la masa de la troposfera, impulsados por la circulación general de la misma y los fenómenos de convección y advección que la conforman; de otro modo no podría explicarse como la troposfera de un hemisferio predominantemente oceánico de muy escasa emisión, como el Hemisferio Sur tiene los mismos valores de CO<sub>2</sub> que el Hemisferio Norte, que es el mayor responsable de esa emisión.

En segundo lugar, esta tendencia creciente de aproximadamente un 0,5 % anual en la última década, (Cuadro Nº 2), demuestra que el mecanismo homeostático del Sistema GEA ya no puede mantener su equilibrio en valores de 270 - 290, como fueron los del siglo pasado antes de la revolución industrial. En él, la emisión desde las fuentes naturales de CO<sub>2</sub> se encontraba en equilibrio con su extinción por sumideros naturales como son: el océano y sus formaciones biocalcáreas y la fotosíntesis de los ecosistemas naturales de alta productividad primaria (bosques y selvas) y agrosistemas primitivos de bajo consumo de energía. Es precisamente el alto consumo de la población actual y los hábitos del Hombre moderno, lo que contribuye a la destrucción de los actuales ecosistemas naturales de alta productividad primaria y su reemplazo por agrosiste-

mas de alto consumo energético (agroquímicos, maquinaria, etc.). Su tiempo de vida en la atmósfera es de 50 a 200 años (Cuadro N° 2).

	DIOXIDO DE CARBONO	METANO	OXIDO NITROSO	CLOROFLUOROCARBONO	CLOROFLUOROCARBONO
Existencia en la atmósfera de Ox atmosférico u oceánico. (años)	50 200	7 10	150	75 110	horas a días
% de contribución al efecto invernadero	53	13	6 a 7	20	horas a días
Concentración pre industrial	275 ppbv	0.7 ppbv	300 ppbv	70 ppbv	35 ppbv
% aumento anual 1980-1983	0.5	0.9	0.25	4.5	1
Efecto acumulado relativo de las emisiones actuales sobre los próximos 100 años (%)	61	15	4	11.5	8.5

Cuadro N° 2: Características de los gases con efecto invernáculo sobre la tierra. Commonwealth Group of Experts, 1959: Meeting the challenge UK.: Commonwealth Secretariat.

Las mediciones continuas de otros gases con efecto invernáculo son más recientes, aunque también los efectos de su incremento fueron señalados en algunos de los trabajos citados anteriormente. El CH<sub>4</sub> naturalmente se produce en la degradación anaerobia de la materia orgánica, como en los pantanos, manglares; en las fosas de termitas y hormigueros; emanaciones de los volcanes y como consecuencia de la fermentación en el estómago de los ruminantes. El sumidero de este gas en la atmósfera fue principalmente su oxidación por el O<sub>3</sub> en la troposfera, generado naturalmente por la electricidad atmosférica de nubes y tormentas, así como por su unión al OH- del vapor de agua de la atmósfera. Sin embargo, la tendencia actual demuestra un desequilibrio debido a la actividad del hombre. Así, la emisión del CH<sub>4</sub> ha aumentado por escapes en los pozos y conducción de petróleo y gas natural; por el aumento del cultivo del arroz en los países tropicales y subtropicales y el aumento del ganado en todos los países del mundo. Este gas tiene un tiempo de vida en la atmósfera entre 7 y 10 años.

El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es un compuesto binario, que naturalmente tie-

ne como fuente procesos biológicos del suelo aunque también de los océanos. Su estabilidad en la baja atmósfera y su tiempo de residencia es muy grande y su sumidero natural son las reacciones fotoquímicas provocadas por la radiación ultravioleta y reacciones con el O<sub>3</sub> y el oxígeno atómico de la atmósfera superior. El incremento debido a la acción humana se puede adjudicar al uso de abonos nitrogenados, a la combustión de biomasa y de combustibles fósiles. Su persistencia en la atmósfera se estima en 150 años.

Los clorofluorocarbonos constituyen un gas a diferencia de los anteriores, cuya fuente es solamente antropogénica y no tiene sumideros naturales. Es de una gran estabilidad en la troposfera. El uso industrial de este gas en la refrigeración, expansión de materiales plásticos, limpieza de microcomponentes electrónicos, y como propulente de diferentes aerosoles, creando una grande y próspera industria en el mundo desarrollado, empezó a propagarse notoriamente en la troposfera en la década de 1950. En la década de 1980 se observó un incremento anual de un 5% de estos gases en la troposfera. Ya se vio en el capítulo anterior lo singularmente dañinos que son estos gases sobre el escudo de ozono, donde cada átomo de C1 liberado fotoquímicamente es capaz, por una reacción en cadena, de destruir 100.000 la estratosfera resulta importante en su alteración del efecto invernáculo de la troposfera, pues su tiempo de vida se estima en ella de 75 a 100 años.

El ozono, que tan beneficioso resulta en la estratosfera, es uno de los gases con efecto invernáculo que juntamente con los C1-F-Cs y el metano, más ha aumentado, en forma relativa, en los últimos años. Es altamente tóxico para los seres vivos, pero tiene muy poco tiempo de vida en la troposfera: de horas a días (Cuadro N° 2). Por esta razón, de ninguna manera podría reemplazar al que se destruye en los 20-40 km de la estratosfera.

El vapor de agua en la atmósfera, es otro componente importante en el efecto invernáculo sobre la Tierra. Este vapor aumentará en el futuro, no necesariamente como un contaminante



más, sino en relación directa con el calentamiento global pues cuanto más alta sea la temperatura de la atmósfera, mayor será la evaporación desde los océanos y continentes y con ello, aumentará la energía potencial de la atmósfera y su inestabilidad.

#### **4. Variación de la temperatura terrestre como indicio del incremento de los gases con efecto invernáculo.**

Si lo expuesto en el punto anterior puede considerarse como prueba de la acción del hombre sobre la composición de los gases variables de la troposfera, y el efecto que teóricamente pueda tener sobre el aumento futuro de la temperatura terrestre, resultará importante referir hasta qué punto se ha comprobado esta relación hasta el presente.

Hace aproximadamente un siglo que se poseen datos de la temperatura del aire en la Tierra; sin embargo, no todas las estaciones meteorológicas poseen registros suficientemente homogéneos para estudiar su tendencia de tiempo. La heterogeneidad proviene del cambio de lugar que han sufrido algunas estaciones desde su fundación, del cambio de instrumental, horario o método de observación, de interrupciones temporarias a lo largo de su historia, del crecimiento urbano de las localidades donde están instaladas, etc. Resulta lamentable, que en el Hemisferio Sur especialmente América del Sur sea la región de la Tierra en la cual mayor número relativo de estaciones deba descartarse para este tipo de estudios. La Argentina, cuyo Servicio Meteorológico tiene más de 100 años, es uno de los países con más estaciones descartadas (Jones et al., 1986 a y b), lo cual ha sido confirmado por Hoffmann (1987), que sólo pudo incluir 5 de ellas es su estudio sobre variaciones de temperatura en el país.

No obstante lo comentado anteriormente, en el Hemisferio Sur Jones et al., 1986 c, utilizando estaciones continentales confiables de Argentina, Australia, Nueva Zelanda y de otros países hemisféricos, observó un crecimiento continuo de la temperatura media anual hemisférica que alcanzó a  $+ 0.5^{\circ}\text{C}$ , entre 1858 y 1984, sobre una curva filtrada

con promedios móviles de 5 años. Además, ha demostrado un crecimiento análogo, aunque algo menor en la noche sobre la superficie oceánica, así como en la temperatura del mar, (Fig. N° 4).

En el Hemisferio Norte, también se ha observado un aumento general de la temperatura del aire cercano a la superficie, de una magnitud comparable ( $+ 0.5$ ;  $+ 0.6^{\circ}\text{C}$ ), (Robock, 1982; Jones et al., 1986 b), con alguna diferencia con el Hemisferio Sur. Así en el Hemisferio Norte se ha notado desde 1880, un aumento sostenido de la temperatura media anual hasta el año 1940, a partir del cual se observó un enfriamiento hasta 1970, fecha en que reapareció su tendencia creciente. El año 1983 correspondió al mayor valor de temperatura media anual, desde que se tiene registro. Otro indicador del probable cambio global de la temperatura terrestre, es la serie de valores que se poseen de la altura del nivel del mar, que muestra un aumento sostenido desde 1880 hasta el presente. Los valores representados en la Figura N° 5, provistos por Gornitz et al. (1982), indican un aumento aproximado de 10 cm en los 100 años entre 1882 y 1982, en los que se puede discriminar el que corresponde a la expansión termal de la masa acuosa, por el aumento de la temperatura de la atmósfera y el adicional proveniente de la fusión de los hielos continentales y oceánicos.

Para algunos autores, estas tendencias corresponden bien con el aumento del  $\text{CO}_2$  ocurrido en los últimos 100 años, mientras que otros dudan y suponen que las variaciones de temperatura registradas se pueden confundir con el ruido estadístico de la corta serie de datos disponibles (Reifsnnyder, 1989)

Las experiencias más impresionantes sobre variaciones pasadas de los gases con efecto invernáculo en la troposfera y en relación con la temperatura de la Tierra, que se han efectuado hasta la fecha, son a nuestro juicio las realizadas en el laboratorio de Glaciología y Geofísica del Ambiente de la CNRS de Francia, en colaboración con investigadores soviéticos del Instituto del Artico de la URSS. Este grupo, tra-

bajando sobre monolitos de hielo obtenidos perforando capas apropiadas de hielo antártico, perfeccionando técnicas que se habían iniciado en Groenlandia en 1969 y en la misma Antártida en la década de 1970, han logrado ajustar cronologías de monolitos de hielo en los últimos 160.000 años (Lorius et al., 1985; Barnola et al., 1987; Genthon et al. 1987 y Jouzel et al., 1987), Fig. N° 6. Además, a partir de las burbujas de aire atrapadas en el hielo, desde la profundidad alcanzada en la perforación hasta la superficie, han podido analizar las variaciones del contenido de CO<sub>2</sub> y las de la temperatura media de la atmósfera en superficie, por el contenido de O<sup>18</sup> ( $\delta$  O<sup>18</sup>) y de deuterio ( $\delta$  D).

Es notable la estrecha correlación que existe entre las dos curvas, desde el final del Pleistoceno hasta el Holoceno actual. La última gran glaciación, que puede centrarse hace 20.000 años y la penúltima hace 150.000, corresponden con valores de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de 183 y 191 ppmv, respectivamente. A la vez, en las dos notables deglaciaciones de estos periodos, tales valores se elevaron hasta 270 ppmv y 280 ppmv. El primero de estos dos últimos valores se registró entre 5000 y 6000 años AP, época en la cual, valores cercanos a 260 ppmv se registraron ya desde 12.000 años AP. En ese período se pueden mencionar dos hechos coincidentes: las primeras escrituras de los antiguos babilonios como el libro de Guilgamesh, en que se relata el episodio del Diluvio, cuyo héroe Utnapistim construyó un arca para salvar a su familia y amigos y a los animales, corresponde bastante bien con el relato que haría Moisés, casi 800 años después, en el Génesis 6, 7 y 8, de hechos que ocurrieron unos 1800 años antes, (Pritchard, 1983). La segunda consideración es la confirmación geológica, en el Holoceno, de la existencia del período altitérico entre 6.000 y 8.000 años AP, en el cual la temperatura del aire en Europa fue + 2.5 °C que la actual y en el que el nivel del mar, llegó a superar los 120 m sobre el que geológicamente se ha podido registrar durante la última glaciación del Pleistoceno (~ 20.000 años AP).

## 5. Cómo se puede prever el cambio futuro del clima

Si bien los valores medidos del pasado ofrecen muchas sugerencias sobre el desafío que representa para la sociedad humana el clima del futuro, no constituyen por sí solos una base segura para un pronóstico concreto y detallado del mismo. Los grandes cambios climáticos del pasado han estado ligados a factores solares, planetarios, geológicos y geofísicos, que se fueron desarrollando durante siglos y milenios. El cambio abrupto que puede introducir el Hombre, al duplicar el efecto invernadero de la atmósfera en 50 ó 100 años, constituye uno sin precedentes en la historia de la Tierra. Cuáles podrán ser sus consecuencias, es la gran incógnita, que amplios círculos científicos tratan de dilucidar y, probablemente, en algunos años se tengan resultados más concordantes que los actuales.

De este modo, existen modelos analógicos basados en lo ocurrido en períodos más cálidos registrados con instrumentos y en datos paleoclimáticos, pero interpretados de acuerdo con los conocimientos actuales del sistema climático como el modelo de Kellogg y Schware, (1981 y 1982), para toda la Tierra; y para aplicación regional, como lo propuesto para Australia y Tasmania por Pittock (1983), o la "hipótesis Molión", para América del Sur descrita en Burgos et al., 1988. Estos modelos pueden resultar útiles para los cambios regionales, hasta tanto los numéricos alcancen una mayor coherencia que la actual.

La imposibilidad de reconstruir detalladamente, desde un pasado lejano, la estructura espacial y temporal del clima, para utilizarla en el modelado del clima futuro, ha conducido a un gran número de investigadores, para resolver el problema, a elaborar modelos numéricos de simulación, basados en el conocimiento actual del proceso físico del clima.

Varios autores se han ocupado de analizar comparativamente, en escala mundial, los resultados de la aplicación de los principales modelos tridimensionales de la circulación general de la atmósfera (MCG), (Schlesinger y

Mitchell, 1987 y Grotch, 1988). Nosotros hemos comparado algunos de los más conocidos como el del National Center of Atmospheric Research de Boulder, Colorado (NCAR); Geophysical Fluid Dynamics Laboratory de New Jersey, (GFDL); Goddard Institute of Space Studies, (GISS) de New York y Oregon State University (OSU), para el espacio más reducido de América del Sur (Burgos et al., 1988). Nuestras observaciones resultaron coincidentes con las realizadas en escala mundial, en que las predicciones de los MCG resultan más coherentes en el cambio de la temperatura, que en el correspondiente a la precipitación y a la humedad del suelo. En esta comparación, las conclusiones principales fueron:

a) Se notó que el modelo que predice el mayor aumento de la temperatura en América del Sur fue el GISS y el menor el OSU.

b) Que el elemento predicho en escala regional o local, resulta menos coherente, y a veces contradictorio, a medida que se aleja del principal factor forzante, que es el balance de radiación.

c) Las incertidumbres actuales (1988), para la aplicación de los MCG al espacio de América del Sur, pueden deberse a la falta de información necesaria del clima de los últimos 100 años, para verificarlos; a la estructura propia de los modelos, que proviene de una mayor o menor comprensión física; a la poca resolución que ofrecen las unidades de grilla utilizadas ( $5^\circ \times 5^\circ$  ó  $5^\circ \times 8^\circ$  de latitud y longitud), debido a la capacidad y costo de la computación; a la falta o deficiencia de algunos parámetros de retroalimentación de los modelos, aún no bien conocidos, como son: la nubosidad, di-

námica del océano y de la cubierta vegetal de los continentes, que pueden afectar el balance de radiación y el coeficiente de intercambio en la baja atmósfera.

Los valores de aumento global de la temperatura media anual ( $^\circ\text{C}$  de la superficie terrestre y de la precipitación total anual (%), que predicen los MCG, se indican en el Cuadro N<sup>o</sup> 3.

### III. CONCLUSIONES

Una cuestión que debemos plantearnos como país, perteneciente e interdependiente de la comunidad mundial y como argentinos, frente a este desafío todavía incierto en los detalles, pero amenazante en su conjunto, es como debemos actuar individual y colectivamente en los próximos 10 - 15 años, para que no nos ocurra con mucha más gravedad lo que ya hemos experimentado en los últimos 100 años (Burgos, 1988).

1. Es muy importante tener conciencia de cuál ha sido el aporte del país en la contaminación de la atmósfera, con gases de efecto invernadero y destrucción del O<sub>3</sub> estratosférico, como para conocer cuál puede ser su responsabilidad en el cambio global y regional del clima y sus efectos. El World Resources Institute ha divulgado los datos, que se presentan en la Figura N<sup>o</sup> 7, de las emisiones netas de gases con efecto invernadero en diferentes países del mundo, en que puede apreciarse la posición relativa de Argentina. En ella se puede ver el por ciento del total mundial de emisión de gases de cada país y para algunos de ellos lo que corresponde a emisión por habitante. Se puede comprobar así que Estados

Cuadro N<sup>o</sup> 3: Aumento global de la temperatura media anual ( $^\circ\text{C}$ ) y de la precipitación total anual (%) que correspondería con un  $2 \times \text{CO}_2$ .

MODELO	T $^\circ\text{C}$	PRECIPITACION	BIBLIOGRAFIA
O S U	2.0	5.1	Schlesinger, 1982
G I S S	4.2	11.0	Hansen et al., 1984
N C A R	3.5	7.1	Washington y Meehl, 1984
G F D L	4.2	8.7	Manabe y Wetherald, 1987
B M O (x)	5.2	15.0	Wilson y Mitchell, 1987

(x) Modelo del British Meteorological Office.

Unidos, URSS, la Comunidad Europea, Brasil y China, son responsables del 60 % de la emisión neta mundial del CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que Argentina aporta sólo el 0.5 % del total. La emisión neta se ha calculado llevando valores equivalentes a CO<sub>2</sub>, en su efecto invernadero, al CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y Cl F Cs y teniendo en cuenta también la destrucción de la vegetación.

Por otra parte, si se consideran los valores de emisión neta de carbono por habitante, se puede comprobar que mientras países de alto desarrollo industrial, tienen valores de emisión neta desde 5 a casi 3 toneladas de carbono por habitante y por año, la Argentina tiene sólo 0.8. En el futuro será indispensable llegar a un tratado Internacional del Clima, que pueda controlar las responsabilidades y las compensaciones económicas nacionales que correspondan por sus efectos.

2. En el orden nacional, se deberían distinguir y atender tres sectores de acción con la mayor prioridad. El sector básico es el desarrollo de la investigación y de la tecnología para detectar indicadores del cambio global del clima y seguir su evolución y la de sus impactos económico-sociales. El segundo sector es el que corresponde al desarrollo de estrategias para suprimir o atenuar sus efectos en todas las actividades de la sociedad: Agricultura, Ganadería, Pesca, Forestación, Industrias, Economía, Transportes, Salud y Bienestar Social, etc. El tercer sector es el que debe comprender la acción internacional para establecer los convenios bilaterales, multilaterales o mundiales, que contribuyan al esclarecimiento del cambio global del clima y sus impactos.

3. Será muy importante el desarrollo de una inteligencia nacional en todos los problemas del cambio global, aprovechando el conocimiento que ya se posee en otros países más adelantados que el nuestro favoreciendo los programas de investigación y de formación de personal entrenado para estos fines.

4. Disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero y de destrucción del O<sub>3</sub> para tratar de atenuar el calentamiento global y disminuir la UVB. Para ello se recomienda la sustitución total de los Cl F Cs y Halógenos de uso industrial y doméstico, por otros compuestos no contaminantes; la utilización de motores y máquinas industriales con mayor eficiencia de combustión; el uso de energía obtenida por métodos no convencionales y la conservación de ecosistemas de alta productividad primaria; e implantación de ecosistemas de estas mismas características.

5. Es necesario elaborar desde ya escenarios con los cambios climáticos probables, para las regiones naturales y las mayores o principales actividades económicas del país, utilizando las analogías disponibles o modelos matemáticos suficientemente probados.

6. Elaboración de escenarios con los cambios climáticos probables sobre nutrición, endemias y epidemias humanas, animales y vegetales; vulnerabilidad de deltas, estuarios y costas marinas; migraciones internas y otras manifestaciones sociales importantes.

7. Promover la formación de organizaciones a nivel nacional, regional, provincial y municipal, que se interesen por el cambio global del clima y sus efectos.

## B I B L I O G R A F I A

- BARNOLA, J. M.; D. RAYNAUD; Y. S. KOROTKEVICH y C. LORIUS, 1987. "Vostck ice core provides 160,000 years record of atmospheric CO<sub>2</sub>". *Nature*, Vol. 329: 408-414, Oct. 1987.
- BROOKS, C. F. P., 1951. "Geological and historical aspects of climatic change". De "Compendium of Meteorology". Ed. T. E. Malone, pp 1004-1018. Am. Met. Soc. Mass., 1951.
- BUDYKO, M. I., 1969. "The effect of solar radiation variations on the Climate of the Earth" *Tellus*, 5: 611-719.
- BURGOS, J. J., 1988. "Impactos socio-económicos de las variaciones climáticas ocurridas en la Región Pampeana". *Rev. Acad. Nac. de Agr. y Veter.*, Tomo XLII, Nº 14, 43 pp., Buenos Aires.
- BURGOS, J. J.; H. FUENZALIDA PONCE y L. C. B. MOLION, 1988. "Climate change predictions for South America". Report of a Workshop held in Mbabane, Swaziland. Southern Hemisphere perspectives of global change: Scientific issues, research needs and proposed activities. December 11-16, 1988, 26 pp. 8 figs.
- CALLENDAR, G. S., 1940. "Variations of the ammount of Carbon Dioxide in different air currents" *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 66:395-400.
- CANNON, W. B., 1939. "The Wisdom of the Body". W. W. Norton and Co., New York, 1939.
- COMMONWEALTH GROUP OF EXPERTS, 1989. "Climate change: Meeting the Challenge". U. K. Commonwealth Secretariat, 1989.
- FARMAN, J. C.; B. G. GARDINER y J. D. SHANKLIN, 1985. "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal C10x/NOx interaction" *Nature*, May 1985, vol. 315: 207-210.
- GENTHON, C.; J. M. BARNAOLA; D. RAYNAUD; C. LORIUS; J. JOUZEL; N. I. BARKOV; Y. S. KOROTKEVICH y V. M. KOTLYAROV, 1987. "Vostok ice core: climatic response to CO<sub>2</sub> and orbital forcing changes over the last climate cycle". *Nature*, Vol. 329:414-418, Oct. 1987.
- GLUECKHAUF, E., 1951. "The composition of Atmospheric air". De "Compendium of Meteorology". Ed. T. E. Malone. Am. Met. Soc., Mass. p. 3-10.
- GORNITZ, V.; S. LEBEDEFF y J. HANSEN, 1982. "Global sea level trend in the past Century". *Science*, 215: 1611-1614.
- GROTCH, S. L., 1988. "Regional intercomparisons of general circulation model predictions and historical climate data". U. S. Dept. of Enerfy Research, TRO 41 CO<sub>2</sub>, 291 pp.
- HANSEN, J.; A. LACIS; R. RIND; G. RUSSELL; P. STONE; I. FUNG; R. RUEDY; J. LERNER, 1984. "Climate sensitivity: Analysis of feedback mechanisms". In "Climate Processes and Climate Geophys. Monogr. Ser. sensitivity". Vol. 29, Edited by J. E. Mansen and T. Takahashi, pp. 130-163, AGU, Washington D. C., 1984.
- HOFFMANN, J. A. J., 1987. "Las variaciones climáticas ocurridas en la Argentina desde fines del siglo pasado hasta el presente". Capitulo IX, 275-290 p. En "El deterioro del ambiente en la Argentina". A. J. Prego, Ed. PROSA FECIC, Buenos Aires.
- HOLLING, C. S. (Editors), 1978. "Adaptive environmental assessment and management". John Willey, Chichester, U. K.
- JONES, P. D.; S. C. B. RAPER; C. M. GOODES; B. S. G. CHERRY y T. M. L. WIGLEY, 1986 a. "A grid point surface air temperature data set for the Southern Hemisphere". Techn. Rep. 027, U. S. Dept. of Energy, 73 pp. Washington D. C.
- JONES, P. D.; S. C. D. RAPER; R. S. BRADLEY; H. F. DIAZ; P. M. KELLY y T. M. L. WIGLEY, 1986 b. "Northern Hemisphere surface air temperature variation 1851-1984" *Apl. Meteorol.*, 25: 161-179.

- JONES, P. D.; S. C. D. RAPER; y T. M. L. WIGLEY, 1986 c. "Southern Hemisphere surface air temperature variation 1851-1984". *Jour. of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 25: 1213-1230.
- JOUZEL, J.; C. LORIUS; J. R. PETIT; C. GENTHON; N. I. BARKOV; V. M. KOTLYAKOV y V. M. PETROV, 1987. Vostok ice core a continuous isotope temperature record over the last climate cycle (160,000 years)". *Nature*, Vol. 329: 403-407, Oct. 1987.
- KEELING, C. D.; R.R. GUENTHER y T. P. WHORF, 1986. "An analysis of the concentration at atmospheric Carbon Dioxide at fixed stations and over the oceans based on discrete samples and daily averaged continued measurements" Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, 412 pp.
- KELLOG, W. W. y R. SCHWARTZ, 1981. "Climate change and Society. Consequences of increasing atmospheric Carbon Dioxide". Westview Press. Boulder. Co. 178 pp.
- KELLOG, W. W. y R. SCHWARTZ, 1982. "De cómo pudieran influir los cambios de clima sobre la producción de alimentos". *CERES (FAO)*, Roma, 15 (2): 40-42, 1982.
- LORIUS, C.; J. JOUZEL; C. RITZ; L. MERLIVAT; N. I. BARKOV; Y. S. KOROTKEVICH y V. M. KOTLYAKOV, 1985. "A 150,000-year climatic record from Antarctic ice" *Nature*, Vol 316: 591-596, August, 1985.
- LOVELOCK, J. E., 1979. "GAIA: a New Look at Life on Earth" Oxford University Press. Oxford U. K.
- LOVELOCK, J. E. y L. MARGULIS. "Atmospheric homeostasis by and for the Biosphere: De GAIA Hypothesis. *Tellus*, 26: 1-10.
- MANABE, S. y R. T. WETHERLAND, 1987. "Large-scale changes in soil wetness induced by an increased in atmospheric carbon dioxide". *J. A. S.*, Vol. 44 pp. 1211-1253.
- MOLINA, M. J. y F. S. ROWLAND, 1974. "Stratospheric sink for Chlorofluoromethane: Chlorine-atom catalyzed destruction of Ozone". *Nature*, 249: 810-812, 1974.
- ODUM, E. P., 1969. "Ecología" 2da. Edición con la colaboración de H. T. Odum, Trad. C. G. Ottenwaelder. Edit. Interamericana S. A., 412 pp.
- ODUM, E. P., 1971. "Fundamentals of Ecology" (W. B. Saunders, Philadelphia, PA., London 574 pp., 3ra. Edición.
- PEARMAN, G. I.; D. J. BEARDSMORE y R. C. O'BRIEN, 1983. "The CSIRO (Australia) Atmospheric Carbon Dioxide monitoring program: Ten years of aircraft data". Div. of Atmosph. Physics Techn. Report N° 45, Comm. Sci. and Indus. Res. Org. Australia, 113 pp.
- PITTOCK, A. B., 1983. "Recent climatic change in Australia: implications for a CO<sub>2</sub>-warmed Earth". *Climate Change*, 5: 321-340.
- PRITCHARD, J. B. 1963. "La Arqueología y el Antiguo Testamento". Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), 308 pp.
- REIFSNYDER, W. E., 1989. "A tale of ten fallacies: the skeptical enquire's view of the Carbon Dioxide/Climate controversy". *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 47, 349-371p., Elsevier Science Publ. B. V., Amsterdam. Printed in the Netherlands.
- ROBOCK, A., 1982. "The Russian surface temperature data see" *Jour. of Appl. Met.*, 21: 1781-1785.
- SCHLESINGER, M. E., 1982. "Simulating CO<sub>2</sub> - induced climatic change with mathematical climate models: Capabilities, limitations and prospects". En *Proceedings: Carbon Dioxide Research Conference Carbon Dioxide, Science and Consensus*, U. S. Dept. of Energy, Washington D. C., 1982.
- SCHLESINGER, M. E., y J. F. B. MITCHELL, 1987. "Climate model simulations of the equilibrium climatic response to increased Carbon Dioxide". *Rev. of Geophys.* Vol. 2 (4): 760-798.
- VERNADSKY, W., 1929. "La Biosphère". Liv. Felix Harcan, Paris, 233 p. Traducción francesa de W. Verdnasky 1926, Biosfera, Leningrado, URSS.

- WASHINGTON, W. M. y G. A. MEEHL. 1984. "Seasonal cycle experiment on the climate sensitivity due to a doubling of CO<sub>2</sub> with and atmospheric general circulation model coupled to a simple mixed-layer ocean model". J. G. R., Vol. 89, pp. 9475-9503. 1987.
- WILSON, C. A. y J. F. B. MITCHELL, 1987. "A double CO<sub>2</sub> climate sensitivity experiment with a global climate model including a simple ocean". J. G. R. Vol. 92, pp. 13315-13343, 1987.
- WOOD, R. W., 7909. "Note on the theory of the Greenhouse". Phil. Mag. 319 pp.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1990. "World Resources Institute". A Report by the World Resources Institute 383 pp. Oxford University Press-World Resources Institute UNEP y UNDP.

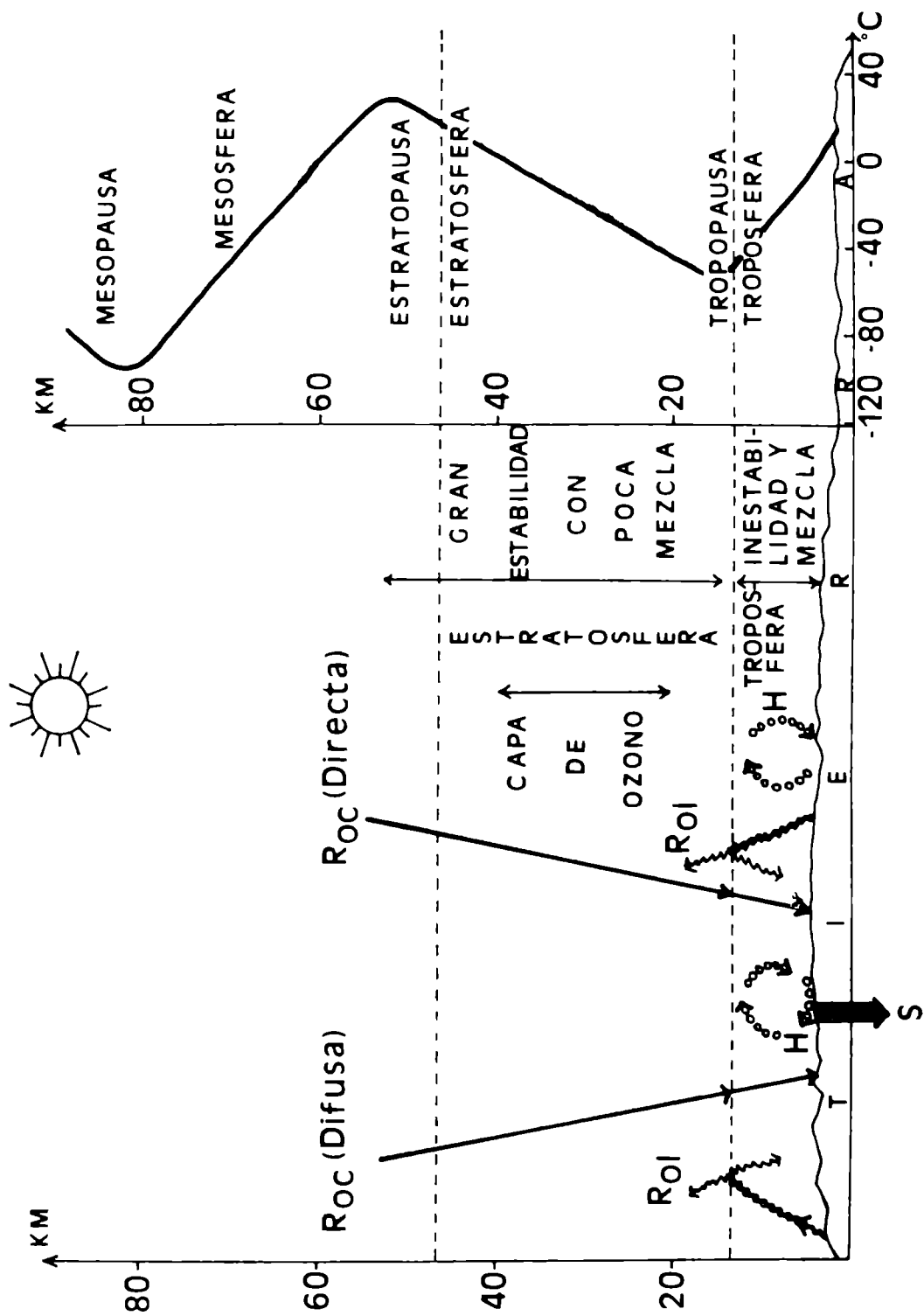


Fig. N° 1: Esquema del efecto invernadero de la atmósfera sobre la Tierra. Roc: Radiación de onda corta, Roi: Radiación de onda larga, H: calor sensible, S: calor almacenado en la capa superficial de continentes y océanos. A la derecha distribución de la temperatura con la altura.



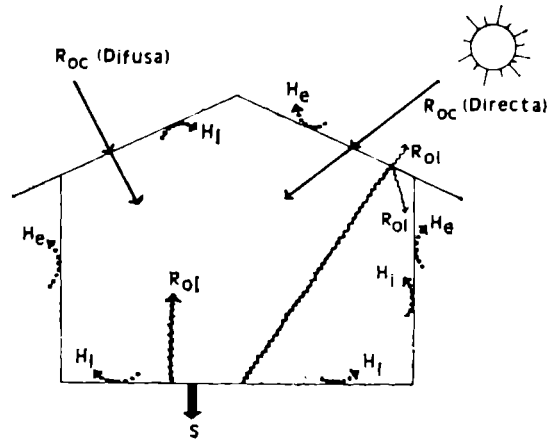


Fig. Nº 2: Balance de energía del invernáculo sin considerar la energía de evaporación-condensación. Roc: Radiación de onda corta, Roi: Radiación de onda larga, S: Calor almacenado en el suelo, Hi: Difusión de calor sensible en el interior del invernáculo, He: Difusión de calor sensible en el exterior del invernáculo.

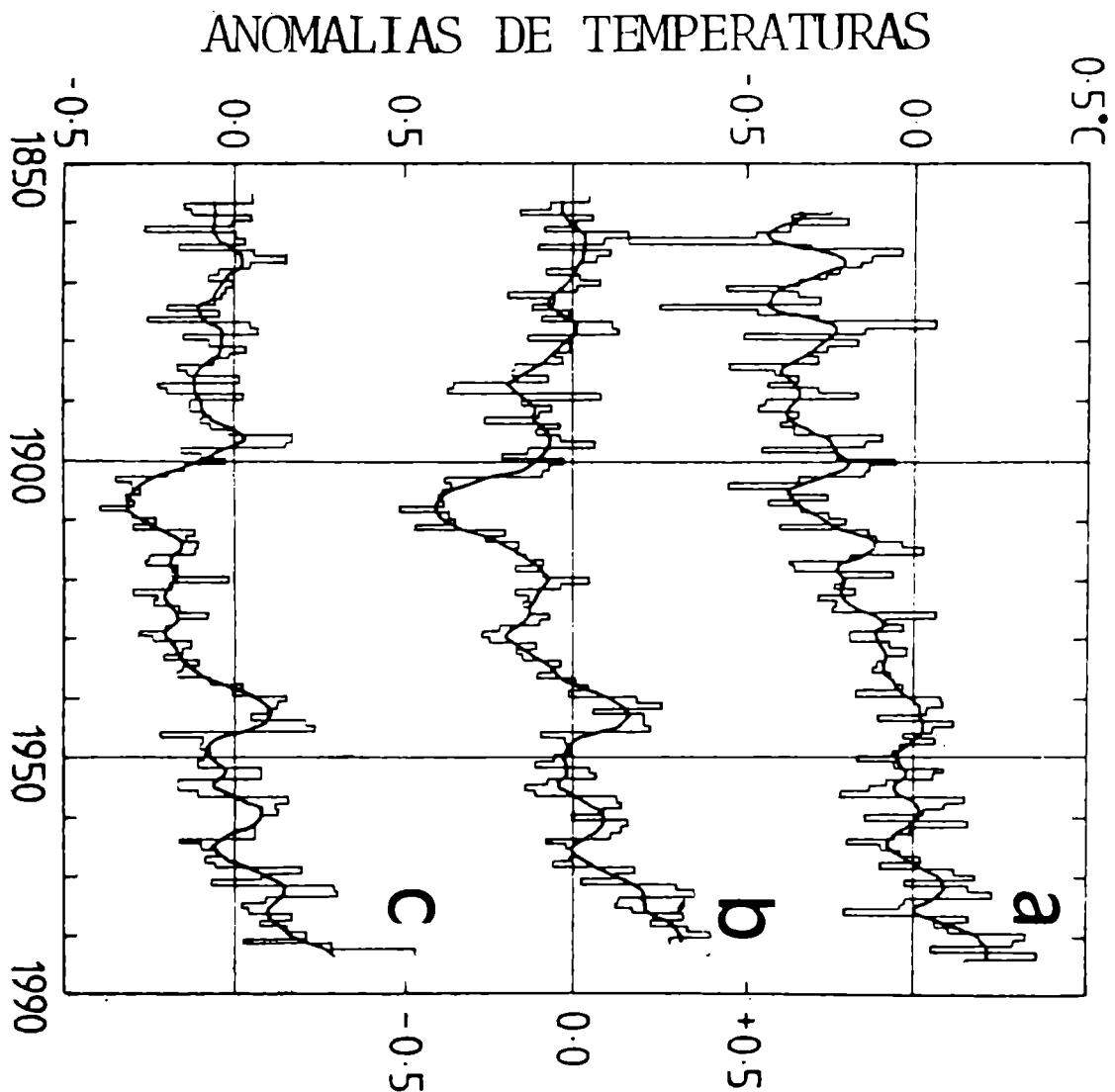


Fig. Nº 4: Comparación de la variación de la temperatura media anual en el Hemisferio Sur, del período 1958-1984.  
 a) Temperatura del aire sobre continentes  
 b) Temperatura del aire marino nocturno sobre buques  
 c) Temperatura de la superficie del mar.

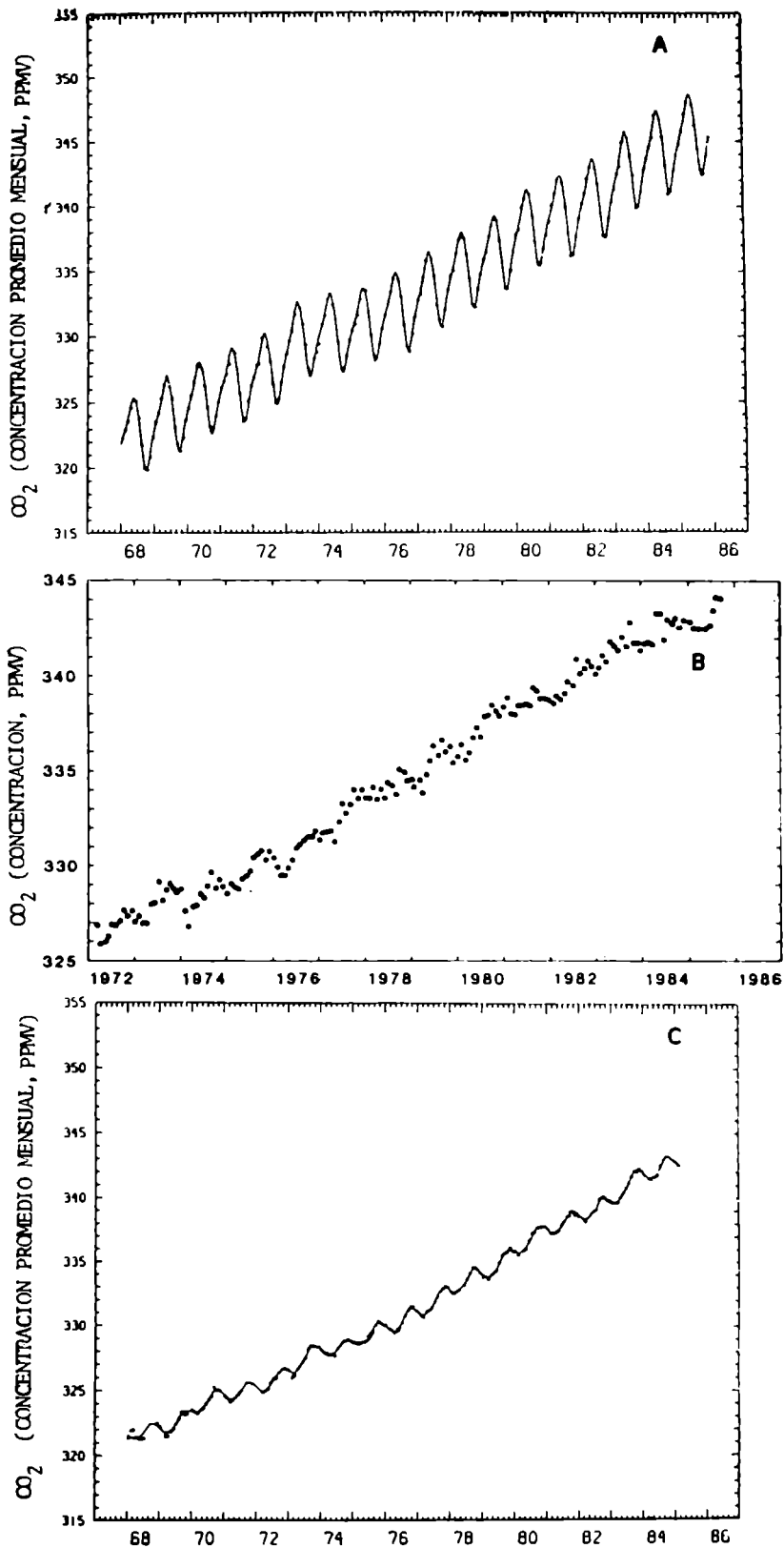


Fig. Nº 3: Concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera en las últimas décadas, A) en el Observatorio de Mauna Loa, Hawaii, cada punto es promedio de observaciones continuas, Keeling et al., 1986; B) en la troposfera media sobre el SE de Australia, cada punto es promedio mensual de muestras tomadas con aviones, Pearman et al., 1983; C) sobre el Polo Sur, cada punto es promedio mensual como en A), Keeling et al., 1986.

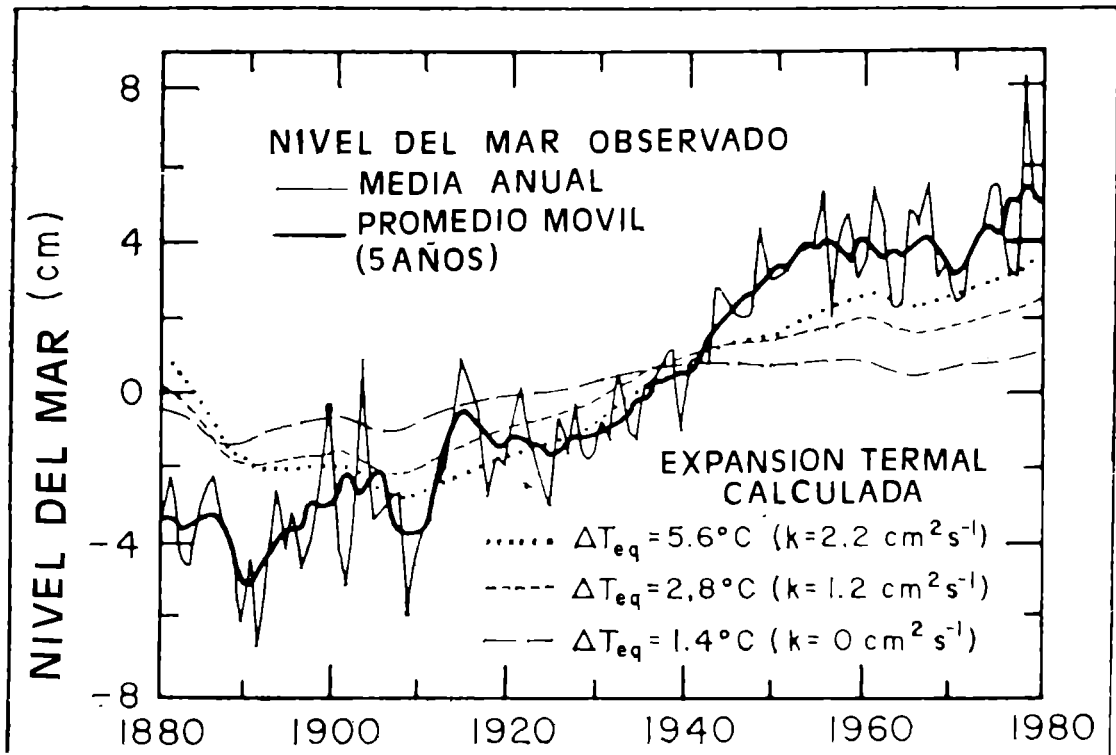


Fig. Nº 5: Tendencia total del nivel del mar comparada con la expansión termal de la capa superior del océano, Gornitz et al., 1982.

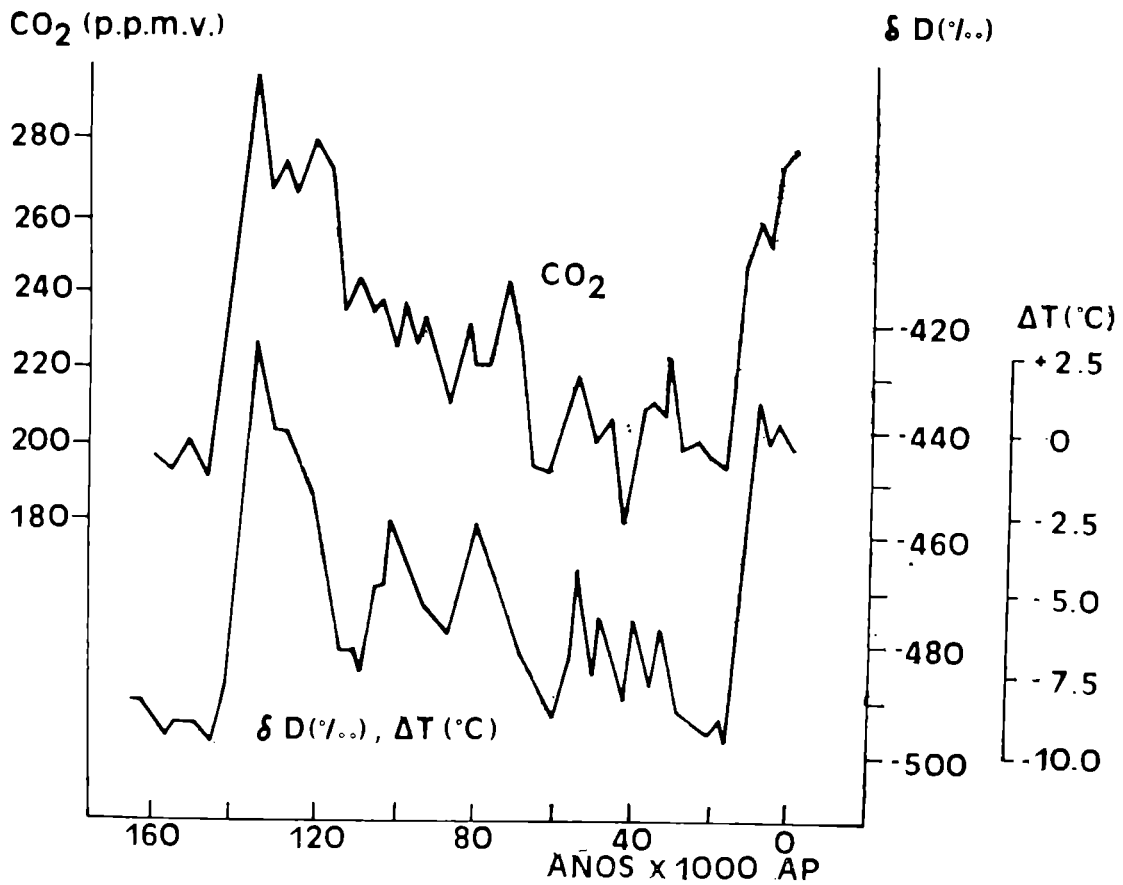


Fig. Nº 6: Concentraciones de  $\text{CO}_2$  y cambios de la temperatura atmosférica derivados de perfiles isotópicos de deuterio, Barnola et al., 1987.

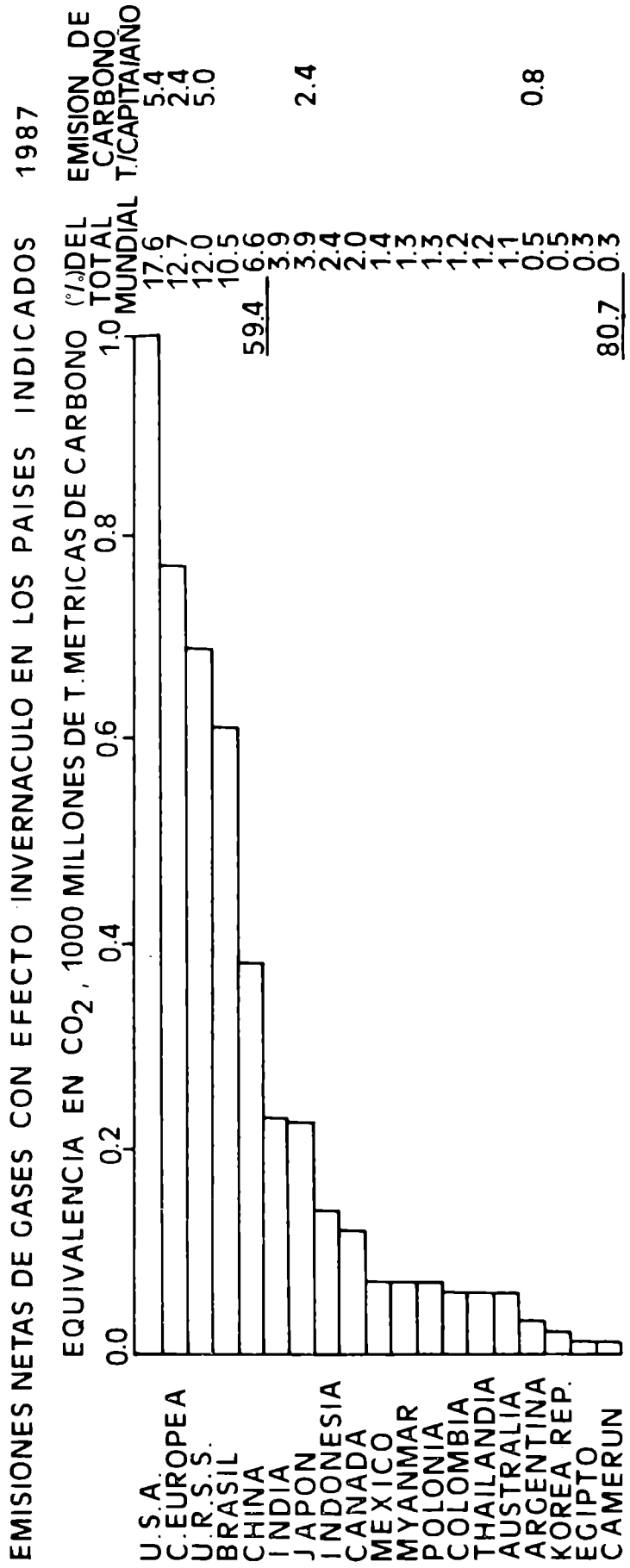


Fig. N° 7: Emisiones netas de gases con efecto invernáculo en el año 1987. Valores equivalentes a CO de diferentes países. World Resources Institute, 1990.