

ORIGENES DE LA DISMINUCION DE CONCENTRACION DE OZONO EN LA
ATMOSFERA TERRESTRE Y SUS CONSECUENCIAS PARA VENEZUELA.

Ing. Humberto Barrientos Mendoza
Asociación Venezolana de Ingenieros
Electricos y Mecánicos. AVIEM.
Director G/T Vent.Ref.y A/A.
Caracas 14 de Abril de 1993.

INDICE

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- CONCEPTOS BASICOS. DEFINICIONES.
- 3.- PROCESO DE LA REACCION FISICO-QUIMICA EN LA CAPA DE OZONO.
- 4.- EFECTOS QUE PUEDE TENER LA DISMINUCION DE LA CAPA DE OZONO.
 - a. Sobre la Temperatura Terrestre.
 - b. Sobre la Irrradiación UV en la superficie Terrestre.
 - c. Conclusiones para Venezuela y los países sub-desarrollados.
- 5.- ORIGENES DE LA DISMINUCION DEL OZONO.
 - 5a. El Planeta como Sistema.
 - 5b. Proceso de Transferencia de Calor del Sol a la atmósfera por convección y su influencia en la concentración del ozono atmosférico.
 - 5b1. Transferencia de Calor por convección por el aire.
 - 5b2. Transferencia de Calor por conduccion por el suelo.
 - 5b3. Transferencia de Calor por convección por el agua.
 - 5c.- RESUMEN DE LA SITUACION.
 - 5d.- Sugerencias para ser estudiadas más adelante.
 - 5e.- Conclusiones para Venezuela y los países sub-desarrollados.
- 6.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

" El hombre existe sobre el planeta, en gran número, como grupo social y cultural. Su existencia misma, implica la modificación de su ambiente, de tal forma, que es capaz de afectar el planeta en su totalidad, en un tiempo muy corto. Es de vital importancia, decidir y trabajar, por lograr las características del Estado Físico, en el cual el Hombre, debe vivir en equilibrio dentro de la Naturaleza."

Las líneas anteriores, reflejan la importancia que para el autor, tienen los problemas de contaminación y la Ecología en general.

La intención de este trabajo, es la de sentar una base sólida de conocimiento, lenguaje y realidades, acerca del ya famoso tema de "La disminución de la Capa de Ozono". De esta manera, con una base común, se puede desarrollar un diálogo constructivo, que permita enfocar el conjunto de soluciones y alternativas que Venezuela tiene que acometer, para proceder a la adaptación del cambio tecnológico de los nuevos refrigerantes y la reconversión de los refrigerantes R-11 y R-12, los cuales serán eliminados en un plazo perentorio [1][2], por las industrias de los países más industrializados que Venezuela.

2. Conceptos Básicos. Definiciones.

Ozonósfera o Capa de Ozono.- Es la región de la atmósfera, situada entre los 10 Km y los 50 Km de altura, en la cual la concentración de ozono (O_3) es apreciable. La zona de la atmósfera que contiene el ozono, la conocemos como estratosfera, que es una parte de la homósfera, como se puede ver en la Fig. 1 [3].

La distribución de los componentes de la atmósfera, se puede ver en la Fig. 2 [4], en donde aparece el ozono a partir de los 10 Km. La composición del ozono en la atmósfera es de 0,7ppm en peso y 0,4 ppm en volumen. Véase la Fig 3 [5]. Es de interés notar, que si compactamos la ozonósfera a nivel del mar y 100% ozono, su espesor sería como de unos cinco (5) milímetros. En esta Capa, se absorbe prácticamente todo el (UV -)

Ozono.- Es una molécula formada por tres átomos de oxígeno con enlaces no simétricos; es un gas, a partir de una temperatura de -170 C a presión atmosférica. Es muy inestable, ya que tiende a disociarse fácilmente a oxígeno molecular, que es un gas muy estable, mas un átomo libre de oxígeno atómico, lo que lo hace fuertemente oxidante.

Este ozono, se forma en la atmósfera a partir de la disociación del oxígeno molecular, cuando este absorbe radiación solar en la longitud de onda de 0,2 A 0,3 um formando dos moléculas de oxígeno atómico; el oxígeno atómico a su vez, en presencia de colisión de moléculas, forma ozono con el oxígeno molecular. El ozono así formado, se destruye a su vez, cuando absorbe radiación solar de longitud de onda menor de 0,3 um.

Al absorber radiación (calor), la capa de aire debe aumentar su temperatura, como en efecto se puede ver en la Fig. 1 [3], desde los 15 Km hasta los 50 Km de altura en donde la temperatura aumenta desde 200 K hasta 278 K.

Radiación Ultravioleta (UV). - Es aquella cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 0,01 μm y 0,4 μm . Ver Fig 4 [6].

Radiación Térmica. - Toda la parte de calor que viene del sol, es emitida entre 0,1 μm y 100 μm de longitud de onda, llamándose este rango el de radiación térmica. Ver Fig. 4 [6].

Radiación Solar. - El sol emite calor por radiación, con una temperatura efectiva de 5780 K y su distribución en función de la longitud de onda puede verse en la Fig. 5 [7]. La parte de la radiación solar que es absorbida por la atmósfera, puede verse en la Fig. 6 [8].

Radiación Terrestre. - La parte de la radiación terrestre que sale al espacio, es a baja temperatura y se puede ver en la parte de onda larga de la Fig. 7 [9]. No existe absorción de esta radiación por parte del ozono, como se puede ver, pero sí por la absorción de calor de los gases antropogénicos (producidos por el hombre) tales como CH_4 , CO_2 , Br y CFC.

3.- Proceso de la reacción físico-química en la Capa de Ozono.-

Por ahora, sólo se ha identificado Cl y Br como los agentes que en combinación química con ozono, disminuyen su concentración.

La reacción química simplificada. - Se deriva del hecho que el ozono, en presencia de gases alogenados, tales como Br y Cl, se transforma en O_2 más óxido halogenado. El proceso, puede verse en la Fig. 8 en donde se toma un gas alogenado (CFC) es como sigue:

Primero.

El O_2 se descompone a O atómico, por efecto de la radiación UV o por una reacción química, El CFC se descompone y libera eventualmente un átomo de Cl atómico.

En este momento existe: O_3 , O_2 , O, CFC, Cl, CF.

Segundo.

El Cl atómico reacciona con el ozono para transformarlo en O_2 y ClO , el cual a su vez reacciona con O atómico para formar nuevamente más O_2 liberando nuevamente el Cl atómico, el cual repite el ciclo miles de veces. Con lo cual aumenta la tasa de formación del O_2 a partir del ozono, disminuyéndose así la cantidad neta de ozono.

En este momento existe: O_3 , O_2 , O, ClO , Cl, CF, con concentraciones menores de O_3 y O, que implica disminución de la concentración de ozono en la Capa.

La parte dinámica de la ecuación -

Para que ocurra catálisis, esto es, para aumentar considerablemente la velocidad de la reacción química, es necesaria la presencia de otras sustancias en forma granulada o de aereosoles. Estos pueden ocurrir en los dos siguientes casos:

a. En aquellas regiones de muy baja temperatura (los Polos), en donde ocurre la formación del fenómeno conocido como PSC (Polar Stratospheric Clouds) que se producen por la formación de un conjunto de partículas y aereosoles en estado líquido o sólido (dependiendo de la temperatura de la atmósfera). Estas partículas pueden ser agua y ácido nítrico [a] los cuales al congelarse (1929K) sirven como núcleo para la formación de la PLC. En esta formación también contribuye el viento polar, que para ciertas condiciones de temperatura y presión, forma Vórtices de muchos Km de diámetro, los cuales tienden a concentrar estas PLC. La superficie

de estas partículas pueden ser, de forma esférica con radio promedio de 0.5 μ m (tipo 1bPLC) o de forma irregular con radio equivalente $>1 \mu$ m (tipo 1aPLC) y "permiten catalizar y activar la reacción de cloruros y bromuros, que de otra forma estarían inertes" [b], tales como ácidos clorídrico, clórico, hipocloroso, nítrico, sulfúrico, bromídrico y sus sales de nitratos, bromatos, cloruros y bromuros. Todos ellos conducentes por supuesto a Cl y Br molecular que reaccionarán con el ozono, como hemos indicado más arriba.

b. En aquellos momentos de actividad volcánica, en los cuales se produce una grandísima cantidad de masa que con la erupción, alcanza alturas estratosféricas. En estas erupciones, se producen sulfatos con ácido sulfúrico concentrado, los cuales forman aerosoles. Está demostrado, con la erupción del volcán El Chichón en 1982, que la degradación de las partículas, puede durar de tres a cuatro años, hasta que las condiciones vuelven a hacerse casi iguales que antes de la erupción [c], mientras que sus efectos, pueden ser medidos en cualquier parte del mundo.

Ya se conoce, que dependiendo de la erupción, esto es, del tipo de magma y acidez del centro del volcán, la masa de cloro y flúor en forma de ácido (HCl, HF), que es relativamente común en una erupción, puede ser igual o mayor que la de los gases sulfurosos [d], existiendo la correlación negativa entre la presencia de aerosoles estratosféricos volcánicos y la disminución de concentración en el ozono atmosférico. [e].

Para tener una idea de la magnitud de las cantidades, baste decir que la producción mundial de SO₂ es del orden de 1 millón de Toneladas al año, mientras que el volcán Monte Pinatubo en Filipinas, tuvo una erupción el 15 de Junio de 1991, con emisiones de más de 15 millones de Toneladas de SO₂.

4.- Efectos que puede tener la disminución de la Capa de Ozono.

4-a.- Sobre la Temperatura Terrestre.

a.- El 90% de la radiación térmica solar (5780 K) en el espacio, se emite entre 0,1 μ m y 3 μ m [a], mientras que el 99% de la radiación solar absorbida por la superficie, está contenida entre 0,25 μ m y 3 μ m. Luego el porcentaje de la radiación total absorbido por el ozono es por sí muy pequeño. Ver Fig. 6 [8].

b.- La fracción de la radiación que llega a la superficie, depende de la longitud de onda, del coeficiente de dispersión y turbidez de la atmósfera y el espesor relativo de la masa de aire m , el cual es la relación de la distancia recorrida por el rayo solar desde un punto a la superficie, dividido entre la distancia mínima a la superficie. En la Fig. 9 [10], puede verse que en el rango UV, la radiación total incidente puede variar desde 7% hasta 0,6%, cuando el coeficiente m pasa de 0 hasta 5. En la Antártida, con una disminución de la concentración de la capa de ozono de 90%, el aumento de la radiación total, sería de menos de 0.5%.

En resumen, la cantidad de calor que llega a la superficie con o sin ozono es pequeña comparada con la total. Además, en los Polos, en donde la disminución del ozono es mayor, la radiación solar se

disminuye 50% por efecto de Latitud y lo que llega a la superficie, se refleja el 99% con la nieve. El hielo a su vez, es un emisor casi perfecto, con una emisividad de 99%. [11].

La disminución de esta capa, tiene muy poco efecto sobre el aumento del calor del sol que llega al suelo y sobre la temperatura de la superficie terrestre sobre todo, al compararlo con los otros agentes contaminantes tales como CO₂.

En el caso de la atmósfera, menos radiación absorbida en ella, significa en forma directa - si sólo se toma en cuenta esa variable - enfriamiento de la misma.

4-b. Sobre la irradiación de UV en la superficie terrestre.

Cuando una molécula de CFC absorbe UV y libera CL, ya no absorbe más radiación. En el "hueco" de la Antártida, la concentración de O₃ se redujo a la mitad (1990) absorbiendo así, menos de la mitad de la UV. El O₂ continúa su absorción de UV.

En consecuencia, existe una mayor irradiación de UV sobre la superficie. A consecuencia de esto, el continente Antártico (20 millones de Km²) y la parte de Chile y Argentina en La Patagonia, deben de haber aumentado su irradiación UV en los últimos años. Lo que es equivalente a decir que, en lo que a radiación solar se refiere, es como que se hubiesen trasladado unos 1200 Km más cerca del Trópico, en el período más crítico del invierno Antártico.

En las Latitudes más hacia el Ecuador, la disminución es muy pequeña y no afecta particularmente.

4.c.- Conclusiones para Venezuela.

De lo anteriormente expuesto concluimos que para los efectos de Temperatura y radiación UV, los países subdesarrollados (como Venezuela) no afectan la capa de Ozono y la Capa de Ozono no afecta a los países subdesarrollados (como Venezuela).

5.- ORIGENES DE LA DISMINUCION DEL OZONO.

El problema de la disminución del ozono en la atmósfera, debe ser analizado a nivel de todo el planeta y éste como un sistema que está sometido a variaciones en el nivel de sus propiedades, geográficamente y en el tiempo, particularmente la concentración de ozono.

5a.

El Planeta como Sistema.

La Tierra es un gran sistema físico, formado por una gran cantidad de elementos y compuestos químicos en distintas fases. Interaccionan unos con otros, intercambiando calor, trabajo, electricidad, magnetismo etc. en forma natural.

El Hombre como parte de ese sistema, también interacciona con el ambiente formando parte de su quasiequilibrio. Cuando medimos el tiempo en intervalos geológicos - La Tierra tiene 4600 millones de años - la actividad del hombre puede ser considerada como pulsos dentro del sistema.

El sistema Terrestre por otro lado, interacciona continuamente generando cambios continuos, pulsos inclusive, de magnitud considerable.

Más arriba se dijo, que las emisiones de SO₂ que produce toda la humanidad en un año, es del orden de 1 millón de Ton al año; mientras que el volcán Pinatubo en 1991, emitió más de 15 millones de Ton en forma de pulso.

Los pesticidas para la agricultura, producen 60 mil Ton al año de Bromuros; mientras que las algas oceánicas producen 180 mil Ton al año.

Un volcán en Krakatoa en 1883, lanzó a la atmósfera 21 Km³ de suelos, equivalentes a 10 mil millones de Ton en dos días.

Los pulsos de la actividad del hombre, son una parte del conjunto de la actividad del Sistema.

El Sistema terrestre, obviamente esta en quasiequilibrio. De acuerdo con esta definición [12], cuando una variable es alterada fuera de su equilibrio, el resto de las variables del Sistema, deben conjuntamente tender a regresar al sistema a su quasiequilibrio original. En el caso que nos concierne, esto significa que al desaparecer la capa de ozono en los niveles de 30 a 50 Km de altura, el oxígeno se seguiría disociando a niveles de 5 Km en adelante, los efectos de convección térmica entre las capas inferiores y superiores de la atmósfera, lógicamente se hacen menos intensos por efecto de la disminución de la diferencia de temperatura efectiva en los dos niveles y el efecto de Difusión molecular se incrementa. La suma de estos efectos, conjuntamente con los de convección del Ecuador hacia los Polos, así como el potencial que se crea por la diferencia de concentración sobre el eje de Latitud y de Longitud en cualquier punto de la geografía, hace que se transporte más Oxígeno neto y más ozono neto, hacia las zonas con menos concentración, oponiéndose así, a la tendencia de disminución de concentración de ozono. En otras palabras, el resto de las variables del Sistema terrestre, tienden a "empujar" el sistema a su condición de quasiequilibrio anterior, por lo tanto, con la eliminación de los contaminantes antropogénicos, la tasa de disminución será la que diga la Madre Naturaleza.

5b. Proceso de Transferencia de Calor del Sol a la atmósfera por convección y su influencia en la concentración del ozono atmosférico.

El proceso puede ser descrito en forma simple, de la siguiente forma: Calor neto del sol entra alrededor del Ecuador, este calor fluye convectivamente por medio del aire y agua hacia los polos Norte y Sur, en donde es emitido por radiación al espacio exterior. El calor emitido por el Sol, es absorbido por La Tierra, en donde no hay hielo, sobre todo en la Zona del Ecuador a +/- 30 Latitud, calentando el suelo, aire y agua, por encima de 0 C y manteniéndose así la máxima temperatura promedio del planeta en esa zona. La mínima temperatura del planeta esta en los Polos. Esta diferencia de temperatura, ocasiona la Transferencia de Calor que origina el clima que nos interesa.
Analicemos los distintos procesos :

5b1. Transferencia de Calor por convección por el aire.

El aire Tropical, en el Ecuador, más caliente y húmedo, por efecto de la irradiación solar, asciende por convección y se dirige hacia Latitudes más altas al Norte y al Sur en donde intercambia calor con corrientes de aire de latitudes intermedias mas frías, descarga la humedad en forma de nieve o lluvia. La corriente de aire Tropical, ya fría y seca, desciende por conveccion y toma direccion hacia el Ecuador para cerrar el ciclo de transporte de calor sensible y latente de agua de mar evaporada, convertida en nieve o lluvia, a latitudes más altas. De hecho, se forman varias zonas de convección antes de llegar a los Polos, una del Ecuador hasta L30, otra de L30 hasta el Frente polar y éste que llega hasta los Polos.

Las corrientes de aire intermedias, en contacto con las Tropicales, aumentan su temperatura y humedad, repitiendo el proceso, el cual continua transferiendo el calor de acuerdo con el eje Norte-Sur, transportando el calor del Sol desde el Ecuador hasta terminar en los Polos.

5b2. Transferencia de Calor por conduccion por el suelo.

El suelo se calienta por encima de la temperatura del aire, transfiriendo el calor del Sol al aire. La conductividad del suelo es demasiado baja y las distancias muy grandes como para transferir calor por el eje Norte Sur. El de conducción es insignificante, sólo debe tomarse en cuenta el de convección del suelo al aire.

5b3. Transferencia de Calor por convección por el agua.

No vemos como puede este afectar el ozono, pero para dar significación al transporte de los fluidos lo mencionaremos, en aras de hacer la explicación más completa.

El calentamiento del agua de mar por el Sol, tiene un doble efecto, primero, calentamiento con humidificación que se transfiere una parte, al aire que viene frío y seco de latitudes más altas, como se vió más arriba. El agua debido a que es un elemento denso, con un gran calor específico (comparado con los gases), flye como corriente y es capaz de llegar a grandes distancias por el mar, igual que un río en la tierra.

El segundo efecto del calentamiento del agua de mar, es subir la temperatura del agua del mar en el Ecuador disminuyendo su densidad por efecto de la conveccion, esta agua fluye hacia los polos, forzando a su vez agua fría de los polos, en el fenómeno inverso, hacia el ecuador, sirviendo como medio de transporte y permitiendo que se produzcan las las corrientes cálidas de los océanos, que transportan el calor del Sol desde el Ecuador, hacia los Polos, explicacion que se compagina perfectamente con la DATA sobre corrientes Marinas [13] y en donde podemos agregar que esta transferencia a bajas temperaturas, podría mantener el crecimiento del espesor de la capa de hielo por debajo de la superficie en los Polos.

Por supuesto, existen muchas otras variables que inciden en este transporte, que deberían también ser tomadas en cuenta. Lo que se quiere destacar, es que en una proporción grande, existe una barrera natural en el Ecuador, que tiende a mezclar el aire fácilmente, sólo en dos hemisferios el Norte y el Sur. Aún cuando debemos reconocer que tienen que existir algo de intercambio en la Cantidad de Movimiento y de mezcla de las dos masas de aire a nivel del Plano Neutro o Ecuador, con tendencia a Vórtice atmosférico.

5c.- RESUMEN DE LA SITUACION.

Se puede entender que el proceso que afecta el ozono atmosférico, es uno Físico-químico con transporte e intercambio de masa y calor y no una reacción química simple de un refrigerante CFC, en presencia de luz solar. Esto, para nosotros es importante, porque denota y enfatiza que todos los gases contaminantes del hemisferio Norte, que es la mayoría de la Producción Mundial (90%), tienen tendencia de mezclarse en toda la atmósfera terrestre sólo en el hemisferio Norte y eventualmente si se van a concentrar en algún lado, este será en el Polo Norte. (13%)

De los razonamientos arriba indicado podemos decir, que la mayor disminución de la concentración de ozono en la atmósfera, debería ser por efecto de los gases contaminantes (antropogénicos), en el Polo Norte.

La realidad es todo lo contrario, ésta ocurre en el Polo Sur.(50%)

En todos los años de Investigación y Desarrollo (R&D), no se ha determinado una teoría o causa específica acerca del ORIGEN, que explique satisfactoriamente todos los aspectos e implicaciones del fenómeno.

Hemos visto más arriba, que las erupciones volcánicas disminuyen el ozono, todavía más; la erupción del Chichón en 1992, contribuyó a una disminución en la cantidad de ozono en los años siguientes [f] y esta fué como consecuencia de reacciones químicas con catálisis de Cl y aereosoles sulfurosos producto de ese volcán.[g].

El efecto del volcán Monte Pinatubo, Latitud 15ºLN, se estima que será de 3% al 12% en el rango de los 30º a 60º LN y que a latitudes mayores de 70º LN se estiman que puede ser de 8% a 24% en Febrero.(Ref. hhh). Obsérvese que al estar el volcán en el hemisferio Norte 15ºLN, la nube volcánica envolvió el Ecuador más al norte a 30ºLN unos meses después [h].

Una conclusión importante que podemos deducir, es que el Hueco de ozono del Polo Sur, no es producto de gases contaminantes, ni refrigerantes fluorocarbonados producidos por el hombre, sino que por el contrario, la dinámica del proceso que ocurre en los Polos, es producto de un mecanismo altamente oxidante (por los PLC y el ozono), que resulta en la erradicación de la atmósfera de todas las substancias asociadas con la congelación y decantación de la atmósfera de las partículas asociadas con las PLC. La remoción del ácido nítrico o denitrificación de la atmósfera, es un hecho ampliamente documentado en la Literatura [b],[i]. De esta manera, los Polos funcionarían como limpiadores naturales de la actividad volcánica, reponiéndose en forma natural el ozono, en las Latitudes más altas (alta concentración), el cual por convección y diferencia de concentración emigra hacia los Polos.

De acuerdo con esta Teoría, la razón de que la concentración de ozono en el Polo Sur sea más baja que en el Polo Norte, deben ser buscadas en otras causas en el hemisferio sur, probablemente de origen volcánico.

5d.- Sugerencias para ser estudiadas más adelante.

Como sugerencia podemos decir, que vale la pena buscar correlación entre la actividad volcánica con producción eruptiva de cloruros, por debajo del paralelo de 60° LS con concentración de cloruros dentro del Vórtice Polar. Incluyéndose en el análisis, el volcán EREBO, ubicado en el propio centro del Polo Sur.

Otra sugerencia es determinar los niveles de concentración de cloruros en el hemisferio Sur y compararlos con los del hemisferio Norte y discutir anomalías en la simetría.

Otra sugerencia es la de estudiar las magnitudes relativas en masa, de las emisiones volcánicas de cloruros comparadas con los refrigerantes contaminantes. Una aproximación de orden de magnitud podría estar en el rango de 4 a 8% en peso de refrigerantes contaminantes a cloruros naturales volcánicos.

5e.- Conclusiones para Venezuela.

De lo anteriormente expuesto una de las cosas que podemos concluir, es que para los efectos de la Disminución de la Concentración de la Capa de Ozono, los países subdesarrollados (como Venezuela) no afectan la capa de Ozono y la Capa de Ozono no afecta a los países subdesarrollados (como Venezuela).

6.- Sobre la eliminación de los refrigerantes fluorocarbonados que afectan la Capa de Ozono.

La mayor producción de contaminantes antropogénicos, que afectan la Capa de Ozono, fué sin duda la de los "impulsores" de aerosoles tales como desodorantes, insecticidas, cremas, pinturas, limpiadores etc. Estos "impulsores", a base de compuestos (CFC) (refrigerantes), implicaron la liberación a la atmósfera de miles de millones de toneladas en un período de 40 años. Esta práctica se suspendió en 1978.

Tampoco se usan ahora CFC, para la producción de paquetes de poliestirenos que se usaban en comida rápida (hamburguesas) y bolsas. La práctica se suspendió en 1988. [14].

El consumo y producción de CFC por Venezuela, comparado con el de los países industrializados, es insignificante. Si se adicionan todos los países subdesarrollados, sería todavía un porcentaje muy pequeño (tomando en cuenta toda la eliminación indicada más arriba y que ya ocurrió). Actualmente se estima que Produven, que es 50% propiedad del Estado Venezolano, pueda generar unas 6000 Ton/año del nuevo refrigerante 134a.

7.- Conclusiones finales en este trabajo sobre la disminución de la Capa de Ozono.-

1.- Desde siempre, debe haber existido una menor concentración de ozono en los Polos, que en Latitudes más altas.

2.- La severidad del fenómeno del Huevo de ozono del Polo Sur, no es debida a la contaminación.

3.- El factor importante en la disminución de la concentración de ozono, es la actividad volcánica natural y la producción natural de Bromuros.

4.- Los Polos entre otras cosas, funcionan como controladores del equilibrio termodinámico de la atmósfera.

- 5.- La contribución de la contaminación debida a los refrigerantes en la disminución del ozono en orden de magnitud, debe ser menor del 10%, comparada con el orden de magnitud de la actividad Natural.
- 5.- La disminución de la concentración de ozono, no es una amenaza inminente y que hay tiempo para una transición ordenada (en aras de la ecología) a productos alternativos. [1] y [2].

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.
- [2] Protocolo de Montreal Relativo a las Substancias Agotadoras de la Capa de Ozono. 1987.
- [3] Nicolet, M. Physics of the Upper Atmosphere. Ed. by J. A Ratcliffe. 1970.
- [4] Craig, R.A. The Upper Atmosphere. Ed. by C.O. Hines. 1970.
- [5] Ahrens, L. H. Distribution of the Elements in Our Planet. 1965.
- [6] Holman, J.P. Transferencia de Calor. México. Compañía Editorial Continental. 1986, Pág. 342.
- [7] Siegel, Robert & Howell John R. Thermal Radiation Heat Transfer. New York. Mc. Graw-Hill Book Company. 1981, Pág. 21.
- [8] Siegel, Robert & Howell John R. Thermal Radiation Heat Transfer. New York. Mc. Graw-Hill Book Company. 1981, Pág. 413.
- [9] Holman, J.P. Transferencia de Calor. México. Compañía Editorial Continental. 1986, Pág. 433.
- [10] Kreith, Frank. Principles of Heat Transfer. Pennsylvania. International Textbook Company. 1963, Pág. 245.
- [11] Sparrow, E. M and Cess, R. D. Radiation Heat Transfer. Belmont, California. Brooks/Cole Publishing Company. 1970, Pág. 47.
- [12] Orígenes de los Glaciales Continentales. Humberto Barrientos. 1992. UCV. Caracas.
- [13] Report. Institute of Oceanography. UK. 1992.
- [14] ASHRAE JOURNAL. Atlanta. November 1989, Pág. 42.
- [a] Particle Chemistry Impactor Experiment. Pueschel, Snetsinger y otros. Jan 90. National Aeronautics and Space Administration, Washington. D.C.
- [b] Upper-Atmosphere Aerosols : Properties and Natural Cycles. Turco. R.P. Jan 92. California Univ. National Aeronautics and Space Administration, Washinton D.C.

- [c] Bildung und Transport von Aerosolteilchen in der Stratosphaere und ihre Bedeutung fuer den Strahlungshaushalt. Schult I. Feb 91. Max-Planck Inst. fuer Meteorologie, Hamburg, Germany.
- [d] Sources of volcanic aerosols: Petrologic and volcanological Constraints. Sigurdsson H. Feb 91. Rhode Island Univ., G.S. of Oceanography. National Aeronautics and Space Administration, Washington. D.C.
- [e] Observations of Ozone-Aerosol correlated behavior in the Lower Stratosphere during the EASOE Campaign. Digirolamo P. Cacciani M. y otros. Jul 92. Rome Univ. National Aeronautics and Space Administration, Washington. D.C. (European Stratospheric Ozone Experiment).
- [f] Ozone destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichón, J. Geophys. Res., 94, 5029. 1989.
- [g] Trace Gas Measurements, in the stratospheric eruption cloud of volcano EL Chichón, using... Arnold, F. Buhrke T. and Qiu S. Nature, 91.
- [h] World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project- Report No. 25. Pag. 4.15. 1991.
- [i] Filter Measurement of Chemical Composition during the Airborne Antarctic Ozone Experiment. Granddrud B., Sperry P., Sanford L. May 88. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO. National Aeronautics and Space Administration, Washington. D.C.

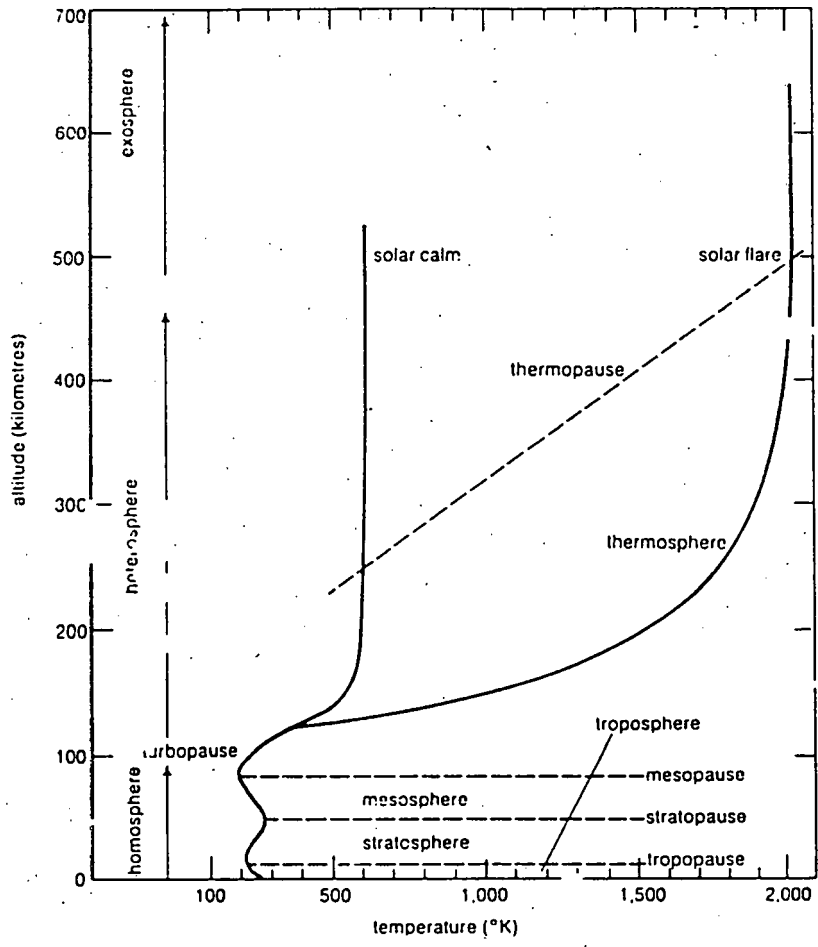


Figure 1: Regions of the atmosphere and their transitional zones.

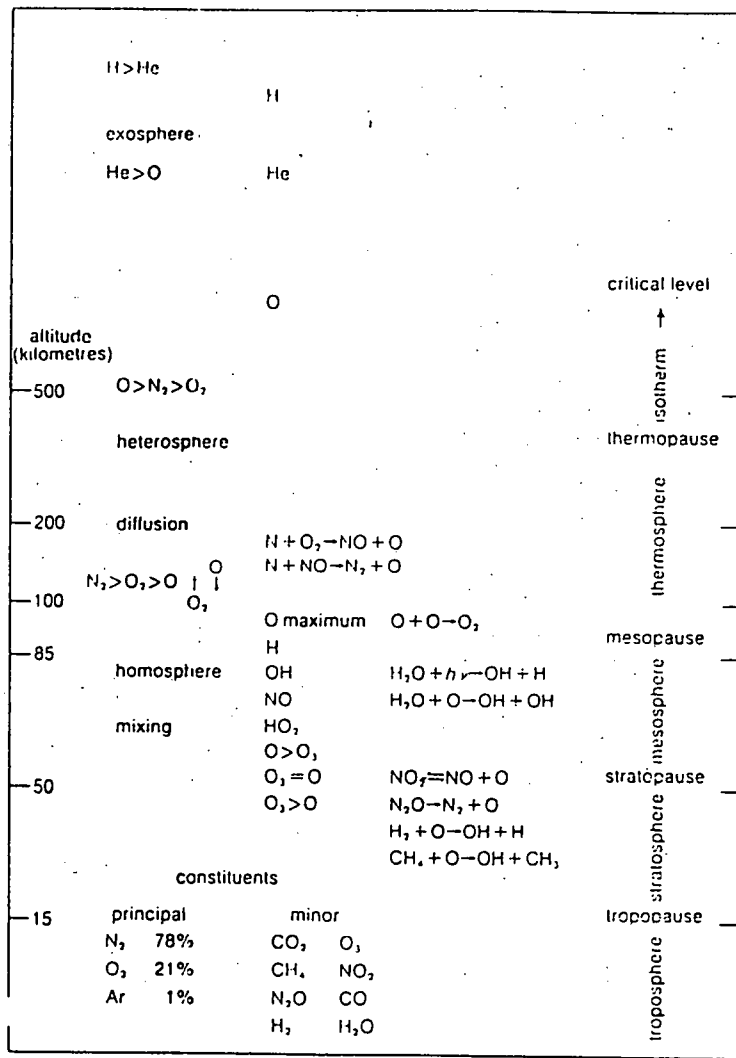


Figure 2: Distribution of principal and minor constituents of the homosphere, heterosphere, and exosphere.

Fig. 3 Average Composition of the Atmosphere

gas	composition by volume (ppm)*	composition by weight (ppm)*	total mass (× 10 ²⁰ g)
Nitrogen	780,900	755,100	38.648
Oxygen	209,500	231,500	11.841
Argon	9,300	12,800	0.655
Carbon dioxide	300	460	0.0233
Neon	18	12.5	0.000636
Helium	5.2	0.72	0.000037
Methane	1.5	0.94	0.000043
Krypton	1	2.9	0.000146
Nitrous oxide	0.5	0.8	0.000040
Hydrogen	0.5	0.035	0.000002
Ozone†	0.4	0.7	0.000035
Xenon	0.08	0.36	0.000018

* ppm = parts per million. † Variable, increases with height.

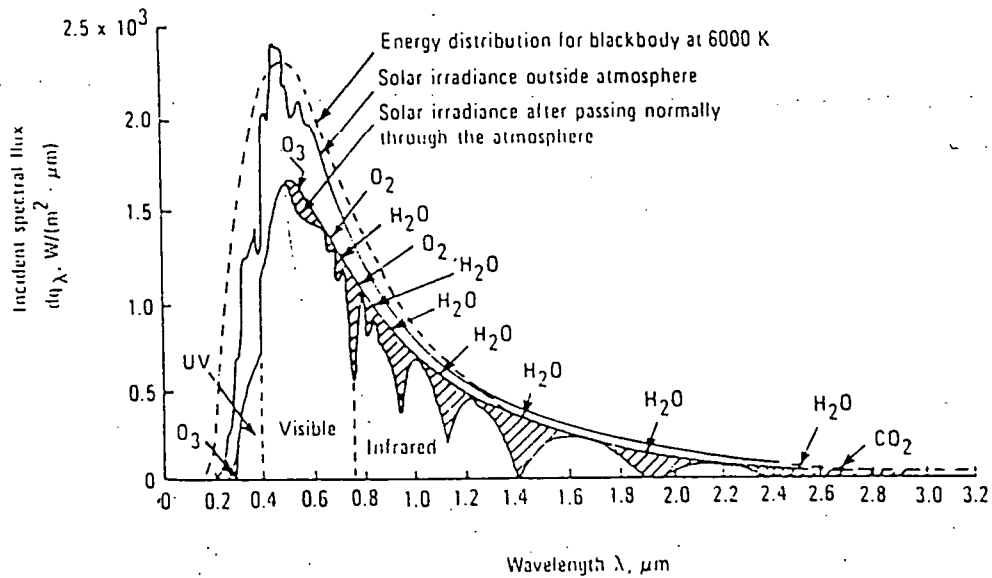


Fig. 6 Attenuation by earth's atmosphere of incident solar spectral energy flux

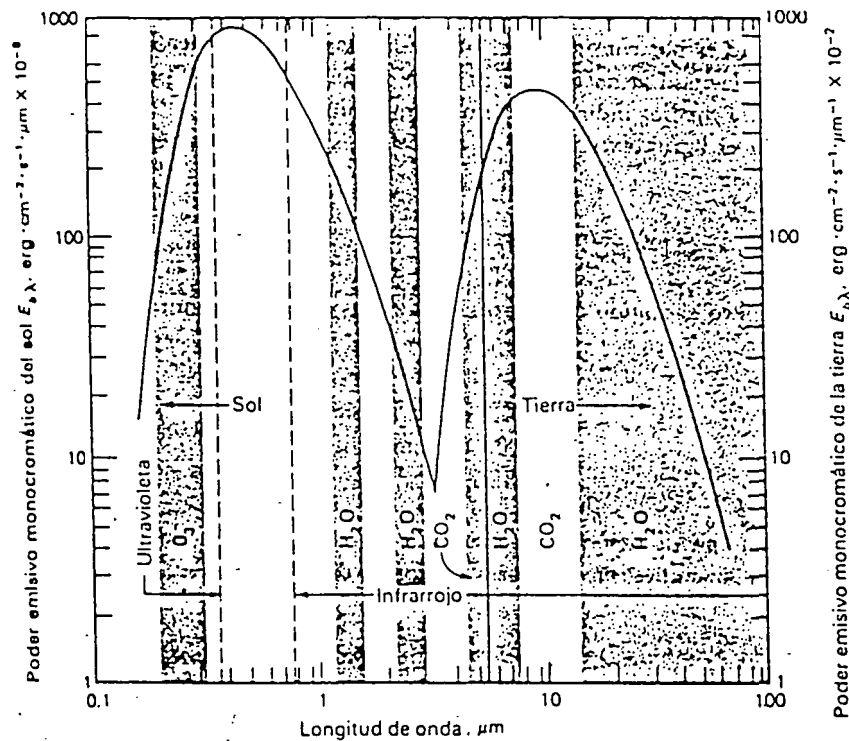


Fig. 7 Espectros de radiación térmica para el Sol y la Tierra con las bandas de absorción primaria indicadas por medio de las áreas sombreadas. Observe las diferentes escalas; $1 \text{ erg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} = 1 \text{ mW}/\text{m}^2$.

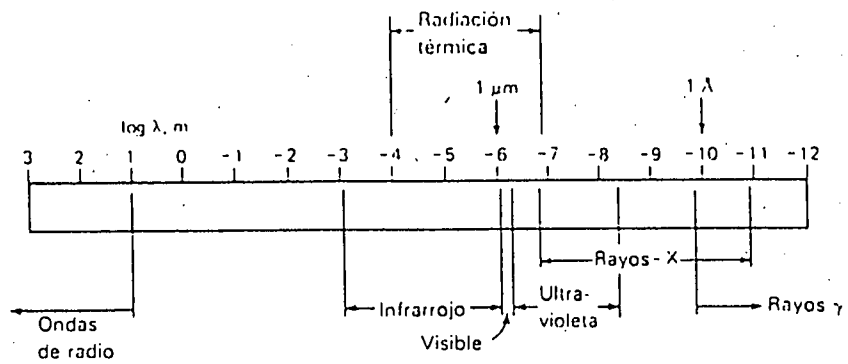


Fig. 4 Espectro electromagnético.

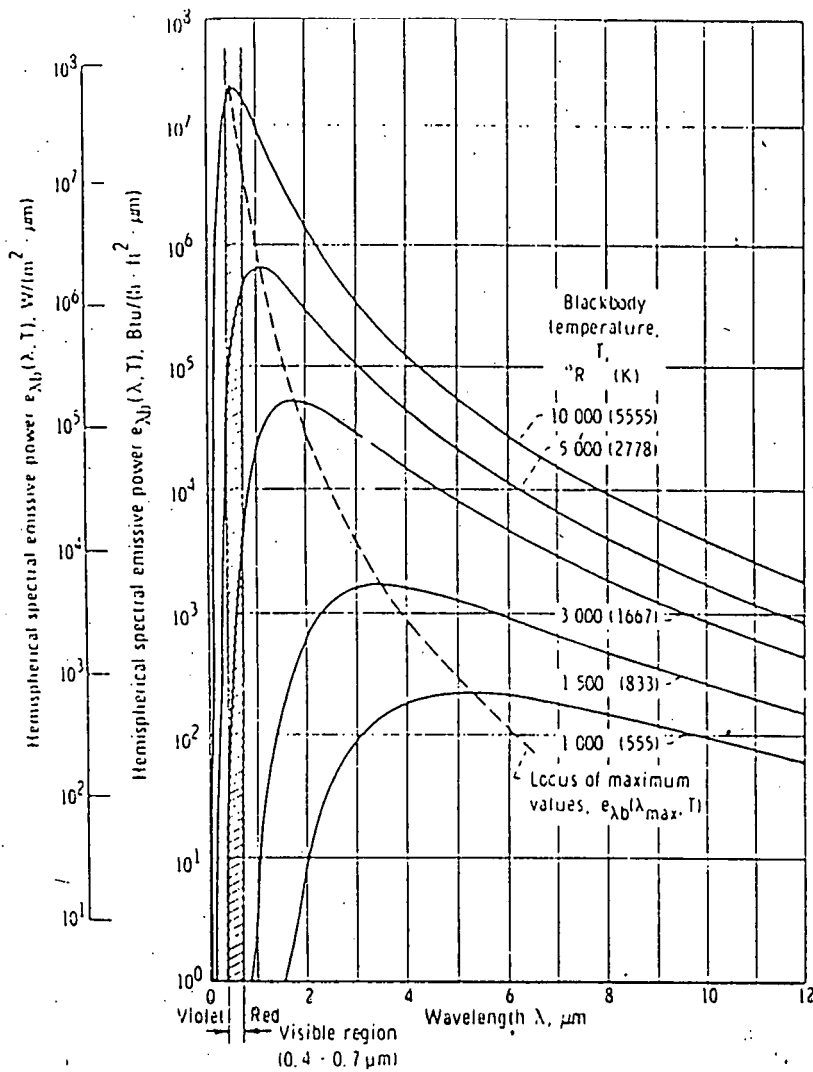
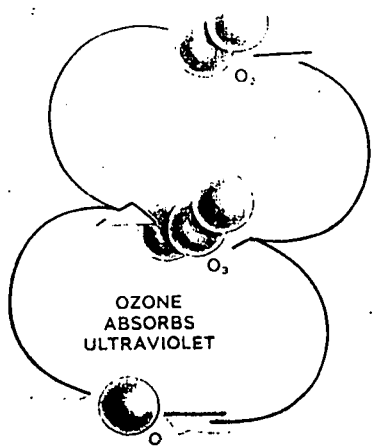
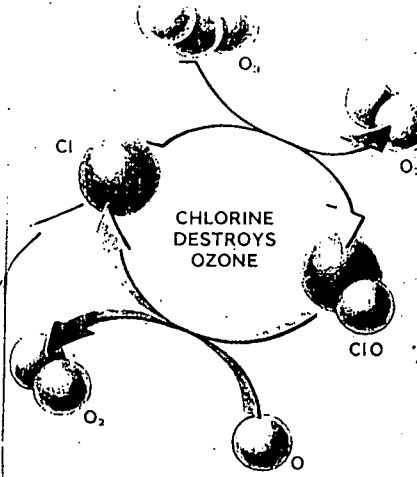
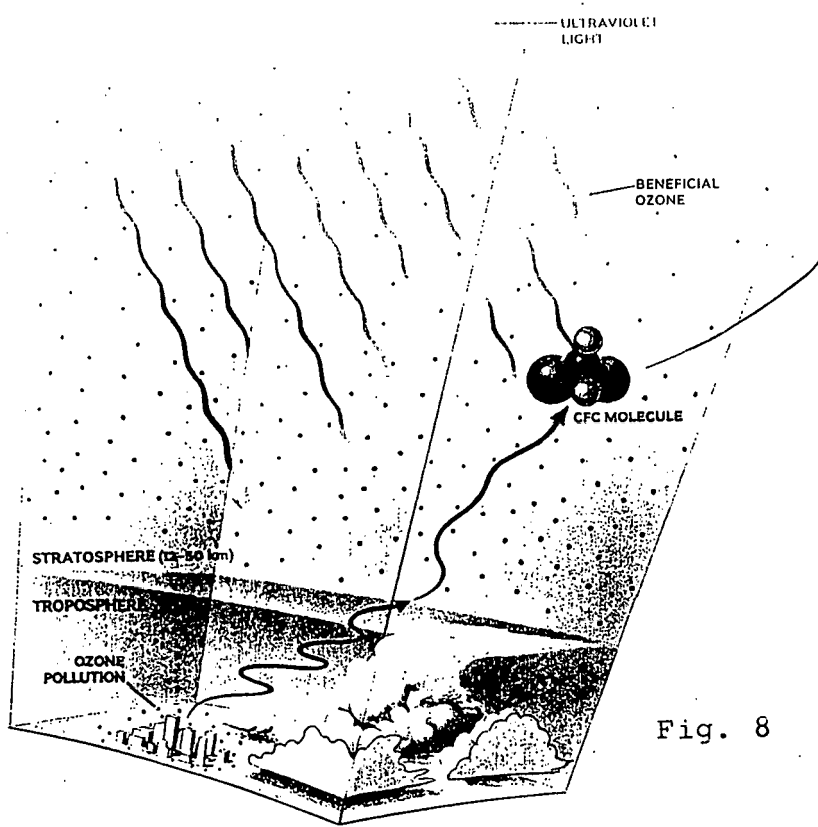


Fig. 5 Hemispherical spectral emissive power of blackbody for several different temperatures.



Ozone — O_3 — is scarce, even in the stratosphere where it is most concentrated. But each molecule counts. Highly unstable — three is a crowd — an ozone molecule readily splits up when hit by ultraviolet radiation (diagram above). The energy of the life-damaging UV rays is thus converted into harmless heat and never reaches the earth. The breakup leaves a free oxygen atom — O — and an oxygen molecule — O_2 , the stuff we breathe. The O and O_2 , in an ongoing cycle, recombine to form new ozone molecules.



When a UV ray strikes a CFC molecule, it releases a chlorine atom — Cl — which then attacks ozone molecules in a catalytic reaction (above). The chlorine breaks the ozone — O_3 — into ordinary oxygen — O_2 — and combines with the free atom of oxygen to form chlorine monoxide — ClO . This is then stripped of its oxygen atom by another free oxygen atom that joins it to become ordinary oxygen. The chlorine atom is left intact to repeat its destruction. It may do so 100,000 times before it is finally neutralized.

Fig. 8

Fig. 9
SPECTRAL DISTRIBUTION OF SOLAR ENERGY, NORMAL SOLAR IRRADIATION, AND TRANSMISSION COEFFICIENT

	m (See Eq. 3-38)					
	0	1	2	3	4	5
Ultraviolet 0.29-0.40 μ	7.2*	4.3*	2.7*	1.5*	1.1*	0.6*
Visible 0.4-0.7 μ	40.8*	45.2*	44.3*	47.6*	40.4*	38.1*
Above 0.8 μ	52.0*	50.5*	53.0*	55.3*	58.5*	61.3*
Normal solar irradiation, G_n , Btu/sq ft hr	442	310	248	203	170	143
Transmission coefficient	0.702	0.748	0.771	0.788	0.799

* In per cent of the total radiation within the wavelength range shown in the first column.
Source: Parry Moon, "Solar Radiation Curves for Engineering Use," *J. Franklin Inst.*, Vol. 230 (1940), pp. 583-618, with correction for more recent value of the solar constant from Ref. 15.