
LA CAPA DE OZONO: CAUSA Y EFECTOS DE SU DESTRUCCION

RAUL EDUARDO GOMEZ TORRES

Departamento de Geociencias-Universidad Nacional de Colombia

Gomez R. (2000): La capa de ozono: causas y efectos de su destrucción. Meteorol. Colomb. 1:39-44. ISSN 0124-6984. Santa Fe de Bogotá, D.C. – Colombia.

RESUMEN

Se realiza una revisión bibliográfica, sobre un aspecto meteorológico que se ha visto afectado por la actividad humana en las últimas décadas: la capa de ozono, que es la capa protectora de la Tierra y sin la cual nos veríamos afectados tanto la humanidad como los seres animales y vegetación, por la radiación ultravioleta que llegaría a la superficie terrestre proveniente del Sol. Se describe lo que es la capa de ozono, algunos de los factores producidos por la humanidad que han producido la disminución de esta capa, de estos, el más importante es la aparición de los clorofluorocarbonos (más conocidos como CFC). También se menciona lo relacionado con el agujero de ozono y algunas actividades que se están llevando a cabo hacia el futuro con miras a controlar que dicha capa no se siga destruyendo por efecto del hombre.

ABSTRACT

This work presents a bibliography review of the ozone bed meteorological aspect that in the lasts decades has been affected by the human activity: the ozone bed is the earth protector, and without it, the humanity, animals and vegetation will be affected by the sun ultraviolet radiation. Ozone bed is described, and also the human factors that produces its disminution for example: the apparition of the chlorofluorocarbons (CFCs). Its presents some aspects related to the ozone hole, and some activities for the future, in order to control of the ozone bed destruction by the human effects.

1. INTRODUCCION

En los últimos años la comunidad mundial está consciente de que la actividad humana representa una amenaza creciente para los sistemas naturales que hacen posible la existencia de la vida en el planeta Tierra. Dicha humanidad tiene el poder de alterar, de forma irreversible, la superficie terrestre y el medio que la rodea, alterando la vida animal, vegetal e incluso la humana.

Para comprender los temas medioambientales es fundamental reconocer la complejidad de los problemas con que nos enfrentamos y las relaciones entre el medio ambiente y otras necesidades de la sociedad. Como ejemplo se puede mencionar el calentamiento global. Controlar las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero, principalmente el CO₂, conllevaría una reducción del empleo de combustibles fósiles para la generación de electricidad y una disminución o una mejor eficiencia del parque automotor. Otro de los principales gases es el metano, producido en arrozales y por el ganado, pero como se observa este último no es controlable por la actividad humana, lo que nos da idea de que es el CO₂, que se ha visto incrementado por la industrialización, el principal responsable de dicho calentamiento.

En las últimas décadas se han tomado medidas significativas para controlar la contaminación, pero queda aún mucho por realizar si de verdad deseamos vivir en un medio ambiente más sano. Entre los principales problemas en el ámbito mundial se tiene la disminución de "La Capa de Ozono", que se ha visto afectada por el progreso industrial realizado por el ser humano para, que según ellos mismos, obtener un mejor nivel de vida, sin tener en cuenta otros aspectos que conllevarían al detrimento de la vida humana, animal y vegetal de forma global, es decir, en todo el planeta, sin importar que dicha industrialización se encuentre concentrada en unos pocos países industrializados.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1. La capa de Ozono

Muchos kilómetros por encima de La Tierra, existe una capa de un gas invisible llamado Ozono, que actúa como una capa protectora debido a que absorbe la radiación ultravioleta (UV), dañina para la vida en este planeta, que es emitida por el Sol y evita que alcance la superficie terrestre con toda su intensidad. Una pequeña reducción de esta capa se traduce en unos niveles peligrosamente altos de radiación en la superficie, que podrían perturbar la vida animal, vegetal y humana. La actividad industrial esta ocasionando tal destrucción de dicha capa que con el tiempo podría representar una amenaza para la vida terrestre.

La atmósfera bloquea la suficiente luz UV para proteger la vida, mientras que deja pasar radiación de otras

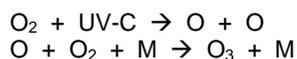
longitudes de onda para mantenerla caliente. También actúa como una cubierta térmica que con el CO₂ y otros gases atrapan el calor necesario para evitar que el planeta se congele y permiten que se escape el calor suficiente para que no se produzca un calentamiento (Fisher, 1992).

2.2. Reacciones entre el Oxígeno y el Ozono

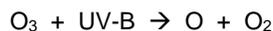
Una molécula de oxígeno (O₂) contiene dos átomos de oxígeno y una de ozono (O₃) tres. Mientras que el O₂ es necesario para la vida, el O₃ en la biosfera es veneno, los animales no lo pueden respirar. La capa atmosférica natural de ozono está más concentrada entre los 19 y los 32 Km. en lo que se conoce como la estratosfera.

El Sol radia un amplio espectro que se denomina radiación electromagnética. La mayor parte es luz visible, con longitud de onda entre 400 y 750 nm, pero también emite radiación invisible, con longitudes de onda demasiado cortas o demasiado largas. Las longitudes de onda largas (radiación infrarroja) son inofensivas ya que llevan menos energía. La luz UV tiene longitudes de onda más cortas que la visible. Parte de esta radiación (320-400 nm denominada UV-A) generalmente no se considera peligrosa. Los rayos UV-B (280-320 nm) se filtran a través de la capa de ozono produciendo cáncer y otras enfermedades. Los UV-C (200-280 nm) producirían la muerte instantánea si lograsen atravesar dicha capa.

El ozono es producido por la misma radiación UV que amenaza la vida. Cuando una molécula de Oxígeno que flota en la estratosfera es bombardeada por rayos UV, se divide en dos átomos de oxígeno libres, mediante una reacción conocida como fotodisociación. Cada uno de estos átomos puede reaccionar con otra molécula de Oxígeno para formar una molécula de ozono (Fisher, 1992; Rowland, 1991).



En condiciones normales, el ozono existe en concentraciones estables porque al mismo tiempo que unas reacciones transforman O₂ en O₃, otras transforman O₃ en O₂.



Las reacciones O₂ en O₃ son producidas por radiación UV-C, que tiene la suficiente energía para romper los enlaces del O₂. La radiación UV-B es menos energética pero más abundante y es la encargada de transformar O₃ en O₂, debido a que los enlaces del ozono son más débiles. De esta forma se evita que llegue a la superficie toda la radiación UV-C y la mayor parte de la UV-B.

Algunas veces el ozono se destruye por colisiones con átomos de oxígeno formando dos moléculas de oxígeno, también puede reaccionar con una variedad de compuestos oxigenados o con otras moléculas

transformándose en oxígeno molecular (Fisher 1992; Rowland, 1991).



2.3. Factor Humano

El equilibrio oxígeno molecular y ozono se ha mantenido durante cientos de millones de años, pero tan solo en los últimos miles de años se encuentra afectado por el ser humano. Durante mucho tiempo, nadie pensó que la actividad humana podría alterar los asombrosos mecanismos que regulan el clima y las condiciones atmosféricas. Sin embargo, hacia 1966 el peligro comenzó a ser una realidad, ya que había planes para crear flotas de SST (aviones de transporte supersónico), pero el Dr. John Hampson del Centro de Investigación de Defensa Aérea Canadiense publicó un artículo en el cual hacía referencia de que dichos aviones volarían en la capa baja de la estratosfera. Uno de los principales gases de escape sería el vapor de agua, normalmente considerado inofensivo. Pero Hampson señaló que el ozono era tan reactivo, que incluso podía ser atacado por dicho vapor transformándolo de nuevo en oxígeno molecular (Fisher, 1992).



Otro de los gases de escape de los SST son los óxidos nitrosos, que también produce con otros gases el calentamiento (efecto invernadero) de la atmósfera, en su capa inferior o troposfera. El Concorde (SST franco - británico) no representa un problema debido al escaso número de unidades que están sobrevolando la atmósfera.

2.4. La aparición de los CFC

Una de las mayores amenazas la constituyen los aerosoles, ya que contienen un ingrediente peligroso, lo que se conoce mundialmente como los clorofluorocarbonos o CFC.

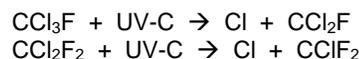
Los CFC fueron descubiertos por primera vez en 1928 por Thomas Midgley, un químico orgánico de la General Motors Corporation, él estaba buscando compuestos inertes, no tóxicos y no inflamables con puntos de ebullición bajos que pudiesen ser utilizados como refrigerantes. Midgley encontró lo que estaba buscando en la forma de dos compuestos; diclorodifluorometano (CCl_2F_2 , conocido como CFC-12) y triclorofluorometano (CCl_3F , denominado CFC-11), fabricados por la compañía Du Pont con el nombre comercial de Freon. Esto se debió principalmente a que se convertían fácilmente en líquido a la temperatura ambiente al aplicarles una pequeña presión y podían de igual forma transformarse en gases. Eran completamente inertes, no reaccionaban con ningún otro compuesto químico, ni con superficies y no eran venenosos para el hombre. Por estas razones, eran los disolventes industriales ideales, esterilizantes para hospitales y utilizados para insuflar plástico líquido en distintas formas de espuma. Se utilizó

para los insecticidas, debido a que los CFC pueden mantenerse en forma líquida en una bombona ligeramente presurizada, al presionar con el dedo el pulverizador, la presión disminuye, permitiendo salir a los CFC en su forma gaseosa natural junto con el insecticida, de esta forma surgió el "spray". Los insecticidas fueron la primera aplicación de los "sprays", pronto se utilizaron en multitud de productos (lacas para el cabello, desodorantes, perfumes, etc.). Con los años se desarrollaron otros compuestos químicos afines, que contenían combinaciones de los cinco elementos halógenos (Flúor, Cloro, Bromo, Yodo y Astatio).

Hacia 1970 James Lovelock fue la primera persona en realizar investigaciones sobre los CFC en la atmósfera, él simplemente quería medirlos. Los CFC siempre habían sido considerados inofensivos, poco activos para reaccionar y él los quería utilizar como trazadores para estudiar las corrientes atmosféricas. A principios de 1973 publicó sus hallazgos donde había encontrado que los CFC estaban flotando en la estratosfera y que se acumulaban en ella, pero concluyó que "no se piensa que la presencia de estos componentes pueda constituir algún peligro" (Fisher, 1992).

Poco después Sherwood Rowland y Mario Molina de la Universidad de California en Irvine, decidieron encontrar cual era el efecto que estos compuestos podían tener en la atmósfera alta.

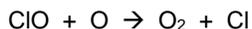
Lester Machta de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration) y Lovelock habían manejado cifras y habían llegado a la conclusión de que las cantidades de CFC medidas eran aproximadamente iguales a la suma total de todos los CFC producidos hasta esa fecha (1973). Rowland pensó que si no había nada en la troposfera que los destruyera, éstos deberían finalmente llegar a la estratosfera, aquí se encontrarían con altos niveles de radiación UV que indudablemente los destruiría. Rowland sugirió a Molina que podría ser interesante estudiar lo que ocurría con los CFC en la Atmósfera. Molina llegó a la conclusión que los CFC no serían afectados en la troposfera, pero que se descompondrían en la estratosfera bajo el violento ataque de la radiación UV-C, liberándose átomos de cloro libres que son muy reactivos (Fisher, 1992; Rowland, 1991).



Estos cloros libres atacarían al ozono que también es muy reactivo, Molina determinó que cada átomo de cloro libre podría combinarse con un átomo de oxígeno de una molécula de ozono, formándose monóxido de cloro (ClO) y una molécula de oxígeno (O_2). Decidió que nunca se liberarían cantidades suficientemente grandes de CFC como para que tuviesen un efecto notable en la capa de ozono.



Sin embargo, Molina siguió estudiando y encontró que tanto los CFC como las moléculas de oxígeno se disociaban en presencia de radiación UV, estos átomos de oxígeno libres reaccionaban con el ClO formando una nueva molécula de oxígeno (O₂) y un átomo de cloro libre

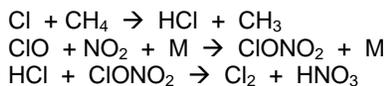


La conclusión final fue que el O₃ se transforma en O₂ y el Cloro, que catalizó la reacción, permanece intacto y listo para reaccionar con más ozono (**Fisher, 1992; Rowland, 1991**).

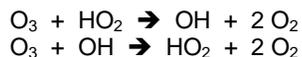
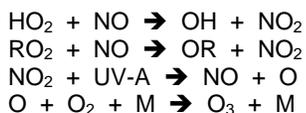
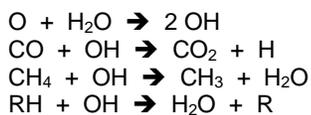
Rowland y Molina publicaron sus hallazgos en la revista Nature en junio de 1974, pero hasta septiembre la información pudo ser conocida por el público en la Conferencia de la Asociación Química Americana (ACS-American Chemical Society), Rowland estimaba que si continuaba creciendo hasta 1990 la producción de CFC a razón de 10% anual y luego se estabilizaba, el efecto en la capa de ozono sería de una reducción para 1995 de entre el 5 y el 7% y para el 2050 de entre el 30 y el 50% (**Fisher, 1992**).

Otro efecto potencial de la reducción de la capa de ozono sería una perturbación en el clima global, debido a que el ozono calienta la estratosfera al absorber radiación solar, creando una inversión de temperatura en la troposfera, impidiendo la circulación vertical del aire. Alterando los patrones de circulación y el clima del planeta en formas todavía desconocidas.

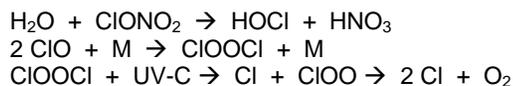
Posteriormente siguió una guerra entre las políticas económicas y medioambientales, en el sentido de acabar o no con los CFC. Debido a que se realizaron algunos hallazgos que llevaban a conclusiones erróneas de que los CFC no eran tan peligrosos como se quería hacer creer por los científicos que apoyaban su total eliminación, o que por medio de ciertas reacciones se los podía controlar (**Rowland, 1991**).



Otro grupo de reacciones que se pueden presentar es cuando el átomo de oxígeno libre reacciona con el agua, formando grupo hidroxilo que a la vez puede reaccionar con otros compuestos, neutralizándolos o la oxidación de los óxidos nitrosos NO a NO₂ (**Galbally & Roy, 1991**).



Los científicos siguieron trabajando sobre estos nuevos resultados, ya que no se había estudiado profundamente si presentaban efectos secundarios que pudieran afectar la vida de este planeta y llegaron a la conclusión de que a pesar de encontrarse productos que supuestamente no liberaban cloro, estos nuevos productos así formados podían ser atacados por radiación UV fuerte, con la mala sorpresa de que finalmente liberarían el cloro.



Hacia octubre de 1976 se propuso por primera vez una reducción progresiva de todos los usos no esenciales de los CFC, que debería finalmente acabarse en octubre de 1978, para desgracia de la humanidad esto se llevó a cabo en los Estados Unidos y otros países, pero en Francia e Inglaterra permanecieron en contra de la regulación hasta que no se registrase una verdadera reducción del ozono y no en suposiciones basadas en modelos de ordenadores y, por tanto, la producción de los CFC volvió a aumentar (**Fisher, 1992**).

2.5. El Agujero de Ozono

Hacia 1984, el público se sorprendió nuevamente, en la Antártida, los investigadores británicos habían descubierto lo que se ha llegado a conocer como "el agujero de ozono".

Estos investigadores han estado midiendo desde 1957 las concentraciones de ozono sobre la Antártida, las medidas eran inicialmente una faceta del proyecto científico mundial "Año Geofísico Internacional", cuyo objetivo era aprender todo lo posible sobre el medio ambiente global, este proyecto duro tres años. Dicha expedición ha continuado realizando cada año medidas de ozono. Durante los setenta, encontraron que las concentraciones de ozono habían caído ligeramente en los meses de septiembre y octubre (primavera del hemisferio sur), pero lo atribuyeron al margen de error del equipo, un espectrofotómetro, y no publicaron sus medidas.

En la primavera de 1982, el equipo midió una reducción del 20%, pero tampoco lo publicaron debido a que según el satélite americano Nimbus 7, que disponía de dos sistemas experimentales para medir el ozono estratosférico (el espectrómetro de distribución total de ozono-TOMS y el medidor de luz solar ultravioleta retrodispersada-SBUV), que eran mucho más sofisticados que el equipo de tierra, no encontraron ninguna desviación anormal en las concentraciones anuales de ozono sobre la Antártida (**Fisher, 1992; Bojkov, 1995**).

En octubre de 1984 se midieron reducciones de más del 30% y ya no pudieron mantener en silencio su hallazgo, además contaron con la ayuda de otras medidas tomadas a miles de kilómetros que corroboraban sus hallazgos. Sin embargo, el Nimbus 7 seguía sin observar nada anormal, pero el equipo británico estaba seguro y envió a Nature un artículo con sus resultados, que se publicó en mayo de 1985. Los científicos de la NASA encargados de dicho satélite, se dieron cuenta que los equipos instalados en el satélite, mandaban los datos inmediatamente a los ordenadores donde eran procesados antes de que cualquier persona pudiera estudiarlos y uno de los inconvenientes hallados en el programa del ordenador era un loop que eliminaba cualquier dato que fuese claramente erróneo, es decir, cualquier número fuera de un amplio rango de posibles valores era descartado, pero almacenado. Con los datos "erróneos" procesados correctamente, el TOMS mostró que se estaba desarrollando un enorme agujero en la capa de ozono sobre la Antártida.

Aunque distintos tipos de actividad solar y volcánica podrían haber creado el agujero, el primer culpable a investigar era el cloro. La expedición inglesa había estado midiendo la concentración de los CFC al tiempo de las de ozono, compararon los gráficos y encontraron una correlación directa, cuando subía la concentración de CFC la concentración de ozono medida cada octubre disminuía. El siguiente paso fue determinar como serían las condiciones en la primavera que podrían favorecer las reacciones $Cl - O_3$ y hallaron que esto tenía que ver con las nubes heladas. Estas nubes polares estratificadas (PSC), forman una cubierta nubosa diáfana en la baja estratosfera, formada por partículas de hielo. Al formarse las nubes al principio del invierno, las moléculas de CFC quedarían atrapadas en la gran superficie de las partículas de hielo, provocando la disociación de dichas moléculas en átomos de cloro libres, que permanecían ligados a las partículas de hielo hasta que las nubes se disiparan en la primavera liberando el cloro que interactuaba con el ozono. Cuando las PSC se formaban de nuevo, los átomos de cloro eran capturados y el ozono podía recuperarse por reacciones del O_2 con radiación UV. La razón de que se presente en la Antártida es que es el único lugar del planeta donde las temperaturas estratosféricas disminuyen lo suficiente como para crearse las PSC (Fisher, 1992; Bojkov, 1995).

En la actualidad las disminuciones de ozono se han registrado en todo el globo, pero no a los niveles del agujero antártico. En el hemisferio norte se han registrado disminuciones del 1,7 al 3% anual (6% en invierno). Otra de las posibilidades es que la apertura del agujero antártico haya afectado las concentraciones de ozono en todo el hemisferio sur, probablemente por corrientes atmosféricas. Un hecho más significativo ocurrido en los últimos años es la aparición de un agujero sobre el Artico, debido muy probablemente a la formación de PSC, ya que al disminuir el ozono se absorbe menor luz UV en la estratosfera y como consecuencia disminuye la temperatura, ocasionando un buen ambiente para la formación de dichas nubes, esto podría llevar a la

creación de un agujero en el Artico del mismo tamaño al existente en la Antártida (Bojkov, 1995)

2.6 Hacia El Futuro

La crisis del ozono continua, ya que aún se siguen produciendo y emitiendo CFC a la atmósfera en pequeña escala y gran parte de los CFC emitidos en el pasado aún ejercen efectos en las regiones altas de la atmósfera, debido a que dichos compuestos tardan muchos años para alcanzar la estratosfera.

Parece ser que los principales sustitutos químicos para los CFC en un futuro próximo son los HFC (Hidrofluorocarbonos) y los HCFC (Hidroclorofluorocarbonos), estos son más reactivos y por tanto se descomponen en la troposfera, debido a que tienen un átomo de hidrógeno que puede ser reemplazado por moléculas reactivas, ya que forma un enlace más débil que el que forman los halógenos, pero estos compuestos pueden tener otros efectos inimaginables, como por ejemplo en el efecto invernadero (Bojkov, 1995)

Los congeladores que utilizan gas propano o agua ya están funcionando satisfactoriamente en laboratorios de Europa y las pruebas indican que pueden ser más baratos y más eficaces energéticamente que los congeladores convencionales, pero están frenados, por que no se han tenido en cuenta en las conferencias internacionales de los CFC, otra traba son las restricciones legales, debido a que como es inflamable lo haría muy peligroso, pero por las cantidades usadas (10 ml) deja de ser un problema.

En marzo de 1985 se reunieron en Viena 20 países y firmaron lo que se conoce con el nombre de "Convenio de Viena", el cual declaraba la necesidad de cooperación entre todas las naciones para salvar la capa de ozono. Se establecieron las bases para el intercambio de descubrimientos científicos y para coordinar el control sobre el ozono, la disminución total de los CFC y su estudio para encontrar sus sustitutos, con la importancia de que estos nuevos compuestos no fueran a afectar la capa de ozono. En 1986 y 1987 el debate se centro sobre quienes deberían hacer los mayores recortes de los CFC, a pesar de estos y otros problemas en septiembre de 1987 representantes de 43 países lograron ponerse de acuerdo para reunirse en Montreal para intentar establecer un protocolo internacional para la protección de la capa de ozono, se presentaron inconvenientes, pero finalmente llegaron a un acuerdo y se firmo el 15 de septiembre lo que se conoce como el "Protocolo de Montreal", en el cual se decidió que ha partir de 1990 se congelaría el consumo y producción de todos los CFC, reducción de un 20% para 1994 y una reducción del 50% para 1999, este protocolo no fue del todo severo y hacia junio de 1990 se volvieron a reunir en Londres y la conclusión más importante fue que se acordó la completa eliminación de los CFC para finales de siglo,

estableciendo las metas del 50% para 1995 y 85% para 1997, incluidos todos los compuestos halogenados dañinos para el ozono. En cuanto a los HFC y HCFC se aprobó que tendrían que ser eliminados entre el 2020 y el 2040 (**Fisher, 1992**).

Para poder hacer controles de las disminuciones se acordó que todos los países deberían mandar datos de la producción de los CFC y así poder corroborar que efectivamente se realizaban estas disminuciones (**Ozone Secretary, United Nations Environment Programme, 1998**; **Organización Meteorológica Mundial, 1996**).

Otras cosas que se pueden hacer por todas las personas son: No comprar productos que usen los sprays que contengan productos químicos destructores del ozono, extintores sin halón, no utilizar productos de poliestireno que contengan CFC, no usar en lavanderías en seco disolventes de CFC, y evitar usar todo lo que pueda producir CFC como los sistemas de aire acondicionado.

CONCLUSIONES

En décadas anteriores no se había captado en toda su dimensión los efectos posteriores de la industrialización de la humanidad, se empezaron a tomar medidas luego que se observó que compuestos como los CFC estaban acabando con la capa de ozono (capa protectora de la tierra) y que se encuentra presente en la estratosfera, la cual no permite que llegue toda la radiación UV a la superficie terrestre, lo que ocasionaría enfermedades en los seres vivos que no se podrían controlar y estas llevarían a que muy probablemente la vida en este planeta sufra un giro muy drástico.

Además, se alteraría notablemente el clima ya que habría un calentamiento sin control de la superficie terrestre, lo que llevaría a que también la troposfera se calentara y se alterarían las circulaciones de los vientos que hoy se conocen, en una forma que no se podría describir con los elementos que se tienen.

Como se observa en los últimos años y debido a los grandes avances científicos, se están tomando medidas para controlar principalmente la producción y consumo de los CFC por organismos internacionales y así evitar que la capa de ozono se siga destruyendo.

Aún hay mucho por hacer, pero se observa que la gente está tomando en serio los problemas que afectarían la vida futura de La Tierra, y por eso es recomendable que se sigan haciendo controles sobre los CFC, seguir buscando sustitutos que no afecten la atmósfera y por ende la capa de ozono.

También hay que buscar fuentes de energía diferentes al CO₂ para tener un mejor control sobre los gases de efecto invernadero y evitar un calentamiento excesivo de la atmósfera que podría llevar a cambios en el clima global.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bojkov, R. D.**, (1995): The Changing Ozone Layer, published by the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Programme. pp.11-17, 22-23
- Fisher, M.**, (1992): La Capa de Ozono: La Tierra en peligro, Edigrafos S. A., Madrid.
- Galbally, I. E. & C. R. Roy**, (1991): Ozone in the Tropical roposphere: A Rewiew. En Ilyas, M., (ed.), Ozone Depletion: Implications for the tropics, Sinaran Bros, Penang. pp.139-154
- Organización Meteorológica Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente**, (1996). (ed.), Informe de la Tercera Reunión de los Administradores de Investigaciones sobre el Ozono de las Partes en el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.
- Ozone Secretary, United Nations Environment Programme**. (1998). (ed.), Production and Consumption of Ozone Depleting Substances 1986-1996.
- Rowland, F. S.**, (1991): Chlorofluorocarbons and Ozone Depletion. En: Ilyas, M., (ed.), Ozone Depletion: Implications for the tropics, Sinaran Bros, Penang. pp. 3-27.