

# Ozono: ¿qué, para qué y por qué?

Apolonio Juárez Núñez

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas  
Universidad Autónoma de Puebla

La atmósfera es un sistema complejo en constante interacción con el espacio exterior y con la superficie terrestre, que protege la vida en la superficie de la radiación electromagnética de alta energía proveniente del Sol.<sup>1</sup> La radiación gamma, X y la mayor parte de la radiación ultravioleta (UV), son absorbidas por las capas superiores de la atmósfera. La Figura 1 muestra un esquema de lo anterior.

La atmósfera está compuesta por diferentes capas: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la termosfera. En la Figura 2 se muestran esquemáticamente estas capas, así como la altura que tienen respecto a la superficie terrestre.

¿Qué es lo que origina este tipo de estratificación en la atmósfera? Lo origina el comportamiento de la temperatura, que es descendente desde la superficie de la Tierra hasta los límites de la troposfera (tropopausa). En la estratosfera este fenómeno se invierte: la temperatura nuevamente empieza a aumentar hasta el límite inferior de la mesosfera, como se esquematiza también en la Figura 2.

Dentro de la estratosfera, a una altura de entre 20 y 30 km, se encuentra la denominada “capa de ozono” terrestre. El hecho de que en la estratosfera aumente la temperatura, se debe a que ahí está situada la capa de ozono. Al respecto queremos mencionar un fenómeno que se suscita en la ciudad de México: todos hemos oído hablar que durante las épocas invernales tienen lugar las llamadas inversiones térmicas (el frío con grandes concentraciones de contaminantes queda atrapado por masas de aire caliente que impiden su dispersión).

De la Figura 2 se puede deducir que en todo el planeta existe una capa de inversión térmica debida al cambio de temperatura que se da en la tropopausa.

Esta capa de inversión térmica global terrestre impide que haya movimientos de masas de aire de la troposfera hacia la estratosfera. Sin embargo, existen otros procesos de difusión mecánicos llamados de “Eddie” que dan lugar a la presencia de moléculas más pesadas que el aire en las capas superiores de la estratosfera.

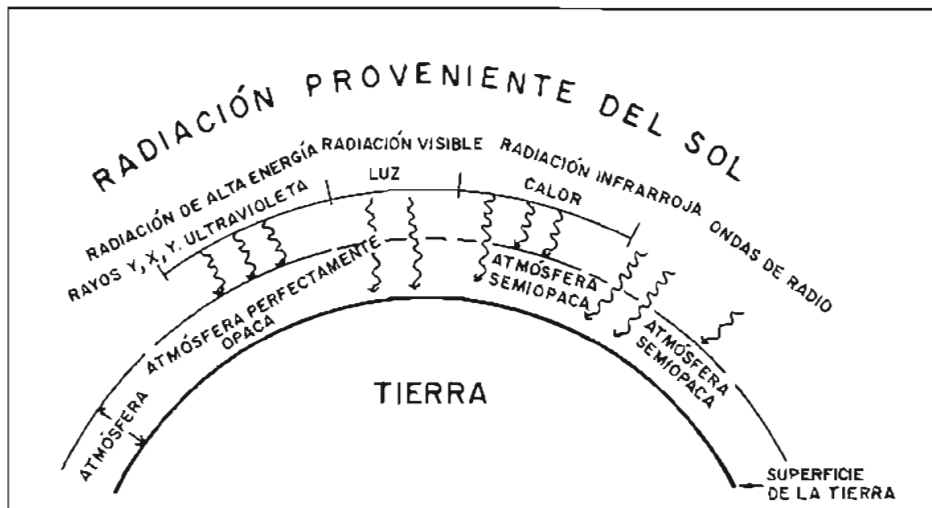


Figura 1

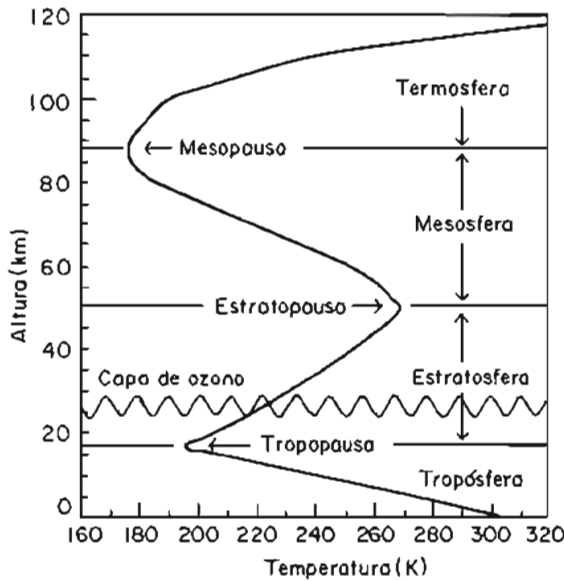


Figura 2

¿Qué es y para qué sirve el ozono?

El ozono ( $O_3$ ) es una molécula compuesta por tres átomos de Oxígeno. El aire que respiramos normalmente contiene moléculas con dos átomos de Oxígeno ( $O_2$ ).

En grandes concentraciones, la molécula de Oxígeno que respiramos es inodora e incolora, mientras que el ozono en grandes concentraciones presenta un olor picante y un color azuloso (éste

es uno de los mejores ejemplos de cómo con sólo agregar un átomo a una molécula se alteran sustancialmente las propiedades fisicoquímicas de la molécula inicial).

El ozono es una molécula inestable y muy reactiva.<sup>2</sup> En la estratosfera el tiempo de vida de esta molécula es del orden de días, mientras que en la troposfera, debido a las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos, el tiempo de vida del ozono sólo alcanza segundos. Otra característica fundamental de la molécula de ozono, es su capacidad para absorber radiación ultravioleta en el rango de los 280 a los 320 nm (un nm –nanómetro– es la millonésima parte de un milímetro). La molécula de ozono también absorbe radiación en el espectro visible y en el infrarrojo pero en mucha menor medida que en el ultravioleta.<sup>3</sup>

El ozono existe de manera natural en la atmósfera en concentraciones muy pequeñas. A manera de ejemplo, en una muestra de aire constituida por diez millones de moléculas, sólo tres serían de ozono (0.0003%), siete millones ochocientos mil serían de Nitrógeno (un setenta y ocho por ciento) y aproximadamente dos millones cien mil de Oxígeno (veintiún por ciento). Como ya mencionamos, la mayor concentración de ozono

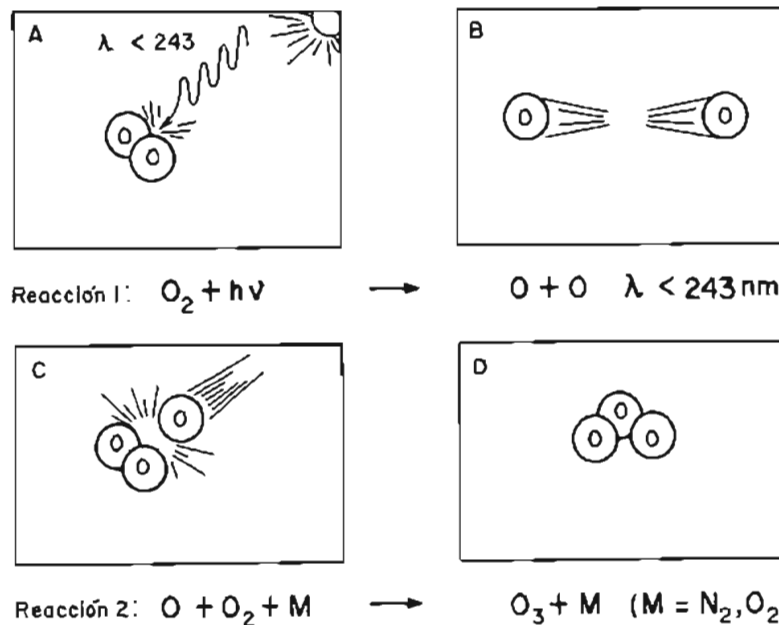


Figura 3. A) La radiación ultravioleta de alta energía interacciona con una molécula de Oxígeno. B) Esta interacción causa que la molécula se divida en dos átomos de Oxígeno libres. C) Los átomos libres colisionan con moléculas de Oxígeno. D) El resultado de todo el proceso es la formación de moléculas de ozono.

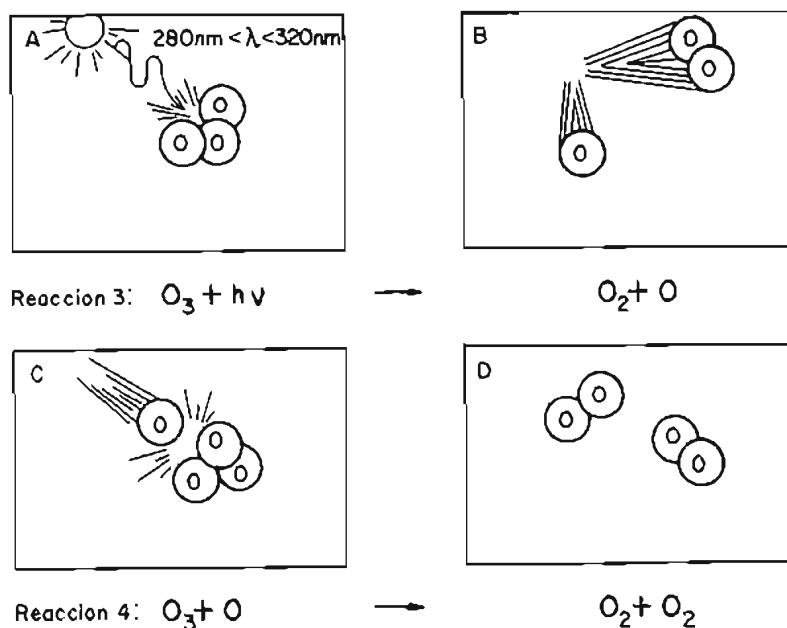


Figura 4. A) El ozono absorbe la radiación ultravioleta entre los 280 y 320 nm. B) La molécula se divide en un átomo y una molécula de Oxígeno. C) El átomo de Oxígeno libre puede entonces colisionar con una molécula de ozono. D) El resultado de tal colisión es la formación de dos moléculas de Oxígeno.

se encuentra en una franja situada entre los 20 y 30 km de altura sobre la superficie terrestre.

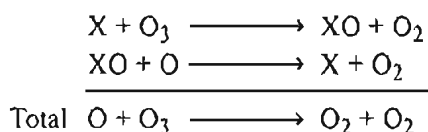
El hecho de que la mayor parte del ozono atmosférico se encuentra en esta franja, se debe a que es fundamentalmente aquí donde se produce por la acción de la radiación UV proveniente del Sol. La radiación UV (específicamente en la llamada región C del ultravioleta) tiene la energía suficiente para separar en dos átomos la molécula de Oxígeno. Esto se muestra gráficamente en la Figura 3.

Los átomos de Oxígeno resultantes interactúan con Oxígeno molecular, resultando finalmente la formación de ozono.

Una vez formadas las moléculas de ozono, éstas absorben radiación UV en la llamada región B del ultravioleta (entre los 280 y 320 nm). De esta forma se impide el paso de esta radiación hacia la superficie de la Tierra y se proporciona nuevamente el ambiente para volver a producir más ozono, como se muestra en la Figura 4.

De manera natural, el átomo de Oxígeno que resulta de la última reacción se combina con ozono para destruirlo, formándose dos moléculas de Oxígeno. Esto se ejemplifica en la reacción 4 de la Figura 3. Las cuatro reacciones anteriores fueron descritas en 1930 por Chapman.<sup>4</sup>

No obstante, la última reacción de Chapman es insuficiente para explicar las concentraciones existentes de ozono natural y sus cambios. Si no hubiera otros procesos de destrucción de ozono, el grosor natural de la capa sería del doble de lo que es ahora. En 1974, Molina y Rowland describieron procesos adicionales de destrucción de ozono mediante las siguientes reacciones:<sup>4</sup>



Donde X es un elemento que favorece reacciones de destrucción de ozono y puede ser un radical Hidrógeno (H), un radical hidroxilo (OH), un radical nitrato (NO), un radical Cloro (Cl) o un radical Bromo (Br). Estos autores (quienes en 1995 ganaron el Premio Nobel de Química por describir estos procesos) establecieron la importancia de estos ciclos, donde el elemento X queda intacto después de destruir ozono y puede iniciar nuevamente el ciclo de destrucción.

De esta forma, el ozono se produce fundamentalmente en la estratosfera, permaneciendo en su mayor parte allí. En la troposfera también se pro-

duce ozono aunque en menor medida que en la estratosfera. El proceso de producción de ozono a nivel de la superficie terrestre es posible debido a que allí existen compuestos químicos que favorecen reacciones para su formación. Esto ocurre principalmente en las grandes ciudades, donde las industrias y el tráfico vehicular (con el consumo de gasolinas oxigenadas), generan compuestos que facilitan reacciones de formación de ozono favoreciendo altos índices en su concentración, como ocurre en la ciudad de México.

### ¿Por qué es importante el ozono?

El surgimiento de la vida en el agua es una teoría que tiene soporte, entre otras razones, por el hecho de que hace miles de millones de años no existía la capa de ozono y la radiación ultravioleta alcanzaba la superficie de la Tierra. Así, el agua era la única protección para el desarrollo de la vida. Sin embargo, con el transcurso del tiempo, los procesos fisicoquímicos descritos por Chapman dieron origen a la formación de esta capa, permitiendo el surgimiento de la vida en la superficie del planeta. En sus inicios, esta capa debió formarse casi a nivel de superficie para alcanzar hoy día la distribución y la altura que conocemos y que ya hemos descrito.

La existencia de la capa de ozono está regulada por una serie de procesos naturales, entre los que destacan la actividad solar, las emisiones orgánicas desde la superficie de la Tierra y las erupciones volcánicas.<sup>6</sup> Éstos son factores que han existido durante miles de años. Una manera sim-

ple de entender el equilibrio del ozono en la estratosfera, es pensar en un cubo con agua que tiene un orificio en la parte inferior. Tanta agua es vaciada en el cubo como agua es derramada por el orificio, de tal forma que la cantidad de agua en el cubo es constante. Asimismo, tanto ozono está siendo creado como está siendo destruido. La cantidad total de ozono siempre es la misma.

### Ozono estratosférico

En las últimas décadas los investigadores han encontrado evidencias de que las actividades del ser humano están rompiendo ese equilibrio dinámico del ozono, en detrimento de su concentración en la estratosfera.

La producción industrial de compuestos químicos que contienen cloro, como los clorofluorocarbonos (CFC's), ha incidido en la destrucción del ozono estratosférico. Los CFC's son compuestos hechos de Cloro, Flúor y Carbono, que unidos forman moléculas muy estables. Los CFC's no reaccionan con otros productos químicos a nivel de la atmósfera baja y, por tal razón, la utilidad industrial que se les ha dado es muy amplia. Los CFC's son usados en la industria electrónica para limpiar componentes, como refrigerantes y como propulsores de gases.

El uso extensivo que inicialmente se dio a los CFC's y su producción masiva, originó que después de varios años estas moléculas alcanzaran la estratosfera, más allá de la capa de ozono. Puesto que la capa de ozono protege a la superficie terrestre de la radiación ultravioleta de alta energía,

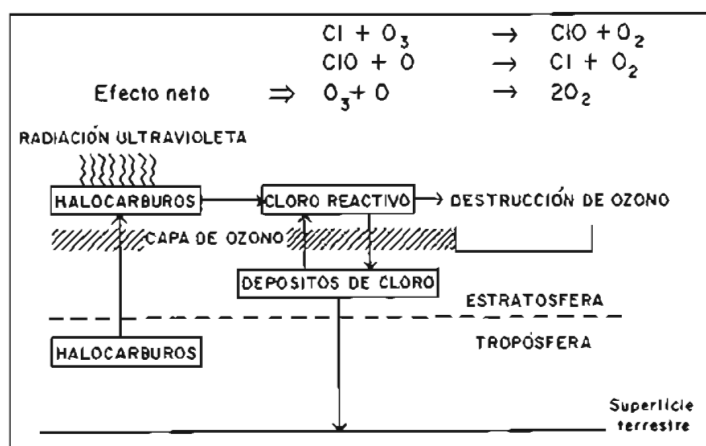


Figura 5

una vez que los CFC's sobrepasan esta capa, están expuestos a la radiación ultravioleta y sus componentes se fotodisocian, liberando Cloro reactivo. Los átomos libres de Cloro reaccionan con el ozono destruyéndolo. Cada átomo de Cloro liberado puede destruir alrededor de cien mil moléculas de ozono mediante las reacciones<sup>5</sup> descritas en la Figura 5.

La distribución atmosférica de ozono depende de la altura, del tiempo y de la latitud. En regiones cercanas al Ecuador la concentración de ozono es menor que en las regiones cercanas a los Polos. A la latitud a la que se encuentra la ciudad de México (aproximadamente 19° Norte) se tienen concentraciones menores que a altas latitudes.

Las concentraciones de ozono se miden en Unidades Dobson (UD). Una Unidad Dobson es la altura de la columna de ozono expresada en centésimas de milímetro y puesta en condiciones normales de presión y temperatura (esto es, presión de una atmósfera y temperatura de cero grados centígrados). Para la ciudad de México la columna total de ozono tiene un valor de 280 UD, esto significa que esa columna se volvería de un espesor de 2.8 mm puesta en condiciones normales de presión y temperatura. Como otro ejemplo podemos considerar regiones donde existen concentraciones de 320 UD; en este caso toda esta columna de ozono puesta en condiciones normales de presión y temperatura tendría una altura de 3.2 mm.

Es necesario hacer un comentario más sobre la distribución latitudinal del ozono: puesto que el ozono se genera por la acción de la radiación solar y puesto que esta radiación incide en mayor cantidad en las regiones ecuatoriales, se esperaría que la concentración de ozono fuera mayor en estas regiones polares. Sin embargo, las corrientes estratosféricas redistribuyen el ozono generado a la latitud del Ecuador.

El estudio de las concentraciones anuales de ozono para diferentes lugares del planeta, situados en latitudes ecuatoriales y bajas, muestran que es difícil establecer tendencias, incluso considerando un periodo de tres décadas, debido al comportamiento irregular de las concentraciones en la columna de ozono en cada localidad.<sup>7</sup>

Mediciones de la última década, tomadas de

manera global, dan cuenta de una disminución promedio del orden del nueve por ciento.<sup>8</sup>

### **El "agujero" de ozono en la Antártida**

En 1985, Farman encontró que en el Continente Antártico la columna total de ozono disminuía sensiblemente durante la primavera antártica.<sup>9</sup> Esto generó un proceso de revisión de datos existentes tanto de superficie como de satélites en esa región, con lo que se corroboró que efectivamente durante la primavera antártica existía una disminución apreciable de la capa de ozono.

Según los datos disponibles, la capa de ozono en el Continente Antártico durante la primavera pasó de 325 UD, en la década de los sesenta, a menos de 100 UD en 1993.<sup>10,11</sup>

En los últimos años han surgido diversas teorías para explicar la existencia del agujero de ozono en la Antártida y la disminución del ozono estratosférico en regiones de latitud media alta. Algunas de estas teorías dan cuenta de que las corrientes estratosféricas que nutren de ozono a los polos han cambiado, teniendo como resultado la disminución en las concentraciones de ozono en esos lugares. Sin embargo, la teoría más reciente y aceptada, establece que debido a las bajas temperaturas en esa región (hasta 90°C bajo cero en invierno) y por efecto de la fuerza de Coriolis, se origina un vórtice en el cual la temperatura baja aún más, condensando compuestos que favorecen las reacciones de destrucción de ozono. Al llegar la primavera antártica y con el calentamiento que se origina con los rayos del Sol, estos compuestos se liberan iniciando el proceso de destrucción de la capa de ozono durante los meses de septiembre, octubre y noviembre.<sup>12</sup>

En el Polo Norte, debido a la distribución que tienen los continentes, no se produce una circulación de vórtice. Por lo tanto la temperatura no baja tanto como en el Polo Sur y el efecto de pérdida de ozono no es tan pronunciado.

### **Ozono superficial**

Recientemente reportamos la incidencia que tiene el ozono superficial de la ciudad de México en las mediciones de la columna total de ozono y en la

temperatura a esa latitud.<sup>13, 14</sup> Nuestros resultados indican que el ozono superficial, altera hasta en un diez por ciento los valores que corresponden a la columna total de ozono en la ciudad de México. El estudio del comportamiento temporal de la columna total de ozono de 1984 a 1989 para tres ciudades: México, Poona (India) y Mauna Loa (Hawaii), todas ellas situadas en la misma latitud, muestra que los valores para la columna total de ozono en la ciudad de México están incrementados con respecto de las otras dos.

Para explicar este incremento, consideramos los datos de ozono superficial existentes en la red automática de monitoreo ambiental para la ciudad de México, específicamente para la estación del Pedregal,<sup>15</sup> situada muy cerca de donde se encuentra instalado el espectrofotómetro Dobson, que mide la columna total de ozono. El resultado de restar la contribución del ozono superficial que se produce en la ciudad de México a las mediciones del espectrofotómetro Dobson indica que, efectivamente, el exceso de ozono proviene del ozono superficial que se produce en la ciudad de México.

De lo anterior podemos concluir que la contribución del ozono superficial a la columna total de ozono en el área urbana de la ciudad de México es significativa y representa un diez por ciento de su valor total.<sup>13</sup>

Como describimos anteriormente, las fuentes de ozono troposférico son variadas. La sociedad industrial ha introducido una importante fuente antropogénica para producir ozono. Esta fuente proviene de la combustión de gasolinas oxigenadas y los componentes que ellas tienen, además de otras emisiones como son los óxidos de Nitrógeno.<sup>15</sup>

La incidencia que tienen altas concentraciones de ozono, comparadas con las que naturalmente existen a nivel de superficie, son negativas para la salud de los seres vivos y en especial para los seres humanos. Entre los efectos que sobre la salud tiene el ozono troposférico están: irritación ocular, producción de tos, dolor de cabeza y en los casos en que existen concentraciones extremas, fibrosis pulmonar.<sup>16</sup>

El problema de los altos índices en las concentraciones de ozono superficial, no son particu-

lares de la ciudad de México sino que se reproduce en otras ciudades del país y del planeta. En particular, la ciudad de Puebla presenta características similares a las de la ciudad de México que dan origen a las llamadas contingencias ambientales. Sin embargo, aquí no existe una red de monitoreo automática para obtener datos sistemáticos e información precisa sobre el nivel real de contaminación en el área urbana. Contamos con datos aislados de los cuales no se pueden obtener conclusiones precisas.

Es importante hacer énfasis en la necesidad de contar en Puebla con una red de monitoreo que mida concentraciones de óxidos de Nitrógeno, óxidos de Azufre, monóxido de Carbono, ozono y partículas suspendidas.

#### 4. Discusión y conclusiones

Las llamadas "amenazas globales" han tenido un cambio significativo en las últimas décadas. En la década de los sesenta, dichas amenazas estuvieron representadas por el "invierno nuclear" como producto de una guerra (al respecto habría que decir que a pesar de los cambios geopolíticos de los últimos años, esta amenaza aún persiste) y por el rápido agotamiento de los recursos naturales. Hoy día, las amenazas globales son fundamentalmente: el cambio climático global, la disminución de la capa de ozono y la injusta distribución de la riqueza.<sup>17</sup>

En este trabajo abordamos el problema de la disminución en la capa de ozono. Si bien existe controversia respecto a las consecuencias que esta disminución podría tener sobre la vida en la superficie de la Tierra,<sup>18</sup> los datos obtenidos indican que las concentraciones globales de ozono en la estratosfera están disminuyendo. El agujero estacional de ozono en la Antártida es un indicador dramático de lo que está ocurriendo. En la Figura 6 se muestran las tendencias calculadas para el ozono estratosférico durante la primavera a diferentes latitudes hasta el año 2030, si las emisiones de CFC's continúan como hasta ahora<sup>19</sup>. Como puede apreciarse, el mayor decremento ocurrirá en latitudes altas.

Hemos dicho que la ciudad de México se encuentra a una latitud de 19° Norte, que corres-

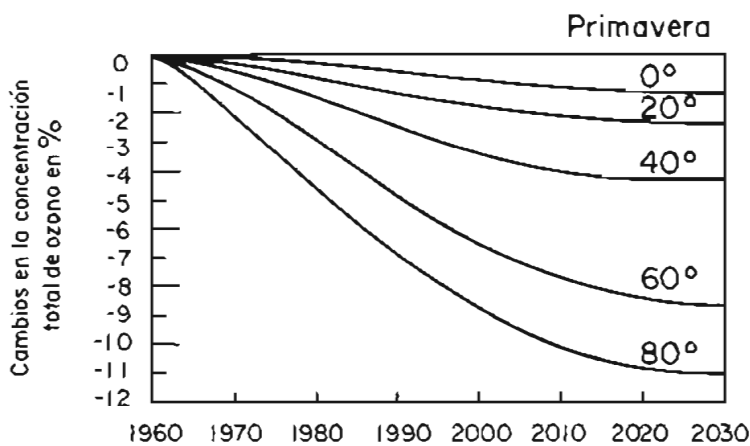


Figura 6

ponde a concentraciones bajas en la columna total de ozono.<sup>20</sup> Afortunadamente, tanto en el Ecuador como en los trópicos, las disminuciones medidas para el ozono estratosférico son mínimas.

El efecto de una variación decreciente en un cinco por ciento en las regiones tropicales, sería devastador en términos de la cantidad de radiación ultravioleta que penetraría a la superficie terrestre, por ser en estas regiones más "delgada" la capa de ozono.

A manera de resumen, antes de pasar a la discusión de los efectos que sobre la salud tendría una disminución en la capa de ozono terrestre, podemos decir lo siguiente:

1. El ozono en la estratosfera forma una capa que protege la vida en la superficie de la Tierra de la radiación ultravioleta proveniente del Sol. En la troposfera el ozono es un contaminante peligroso cuando rebasa sus concentraciones normales.

2. La disminución de la capa de ozono está ligada al uso de los CFC's y otros halógenos. Los CFC's permanecen intactos en la atmósfera por muchos años hasta que se distribuyen en la estratosfera. Una vez que sobrepasan la capa de ozono, la radiación ultravioleta rompe los enlaces moleculares liberando Cloro y permitiendo que éste inicie su ciclo de destrucción de ozono. Se calcula que cada molécula de CFC puede destruir hasta cien mil moléculas de ozono.

3. Entre 1979 y 1995 en el Hemisferio Norte se han presentado grandes áreas donde los niveles de ozono han descendido hasta en un cuarenta por ciento durante intervalos del orden de semanas.

4. Reportes recientes de la NASA indican una variación decreciente en un nueve por ciento global en las concentraciones de ozono estratosférico, en los últimos quince años.

Las consecuencias de que mayores dosis de radiación ultravioleta lleguen a la superficie serían graves. La radiación ultravioleta dañaría el DNA de nuestras células. Por tal motivo, algunos de los efectos que este exceso de radiación tendría sobre las diferentes formas vivientes en la superficie del planeta

y en particular sobre la salud del ser humano serían las siguientes:<sup>21</sup>

1. Aumento en la incidencia de cáncer en la piel.
2. Aumento en la incidencia de problemas oculares, específicamente cataratas.
3. Efectos negativos sobre la vida vegetal.
4. Efectos negativos sobre la vida marina, origen de la cadena alimenticia de los seres vivientes en el planeta.
5. Debilitamiento del sistema inmunológico de los seres humanos.

Debido a lo anterior y con base en los pronósticos mostrados en la Figura 6, los países industrializados productores de compuestos clorados, especialmente CFC's y haluros, se reunieron en 1987 estableciendo el llamado Protocolo de Montreal.<sup>16</sup>

Este protocolo establece que para 1988 se reducirá en cincuenta por ciento la producción de CFC's respecto a 1986, hasta su eliminación total en la primera década del siglo entrante. Un dato interesante es el hecho de que la transnacional Dupont, la mayor productora de CFC's a nivel mundial, se ha comprometido a dejar de producir estos CFC's para el año 2000.

Aun considerando las limitaciones impuestas por el Protocolo de Montreal, las tendencias en la evolución del ozono estratosférico, indican que el deterioro en la capa de ozono continuará. Por tal razón, el Protocolo ha sido enmendado en 1990 en Londres y posteriormente en Copenhague (1992), obligando a los países desarrollados a eliminar la producción y uso de los CFC's en 1996 y

añadiendo a la lista de sustancias controladas a los HCFC's. Los países en desarrollo tienen responsabilidades similares pero con un periodo de gracia de diez años.

La pregunta por responder es ¿qué podemos hacer individualmente ante el problema de la disminución de la capa de ozono? La respuesta objetiva es: ¡poco! Los niveles de ozono dependen de fenómenos naturales fuera de nuestro alcance tales como actividad solar, erupciones volcánicas, condiciones climáticas terrestres y en el ámbito antropogénico, de la emisión de compuestos químicos clorados que se producen de manera global en el planeta.

Lo que como individuos podemos hacer es poco: cuidar que nuestros refrigeradores no tengan fugas, tratar de no usar aire acondicionado y reducir al máximo el uso de los llamados *sprays* que contengan compuestos destructores de ozono estratosférico.

### Agradecimientos

La obtención de datos de INTERNET, así como la edición y corrección del presente trabajo fueron posibles gracias a la generosa ayuda de E.A. Martínez Mirón. Por tal motivo agradezco su colaboración.

### Referencias

<sup>1</sup> Ingersoll, A.P., "La atmósfera". Libros de Investigación y Ciencia, Edit. Prensa Científica, 1987, pp. 128-141.

<sup>2</sup> Change, R., *Chemistry*, Edit. Random House, 1984.

<sup>3</sup> Dutsch, H.U., "Photochemistry of stratospheric ozone", *Quart. J.R. Met. Soc.*, Vol. 95, 1969, pp. 483-497.

<sup>4</sup> Chapman, S., "A theory of upper-atmosphere ozone", *Mem. Roy. Meteorol. Soc.*, Vol. 3, 1930, p. 103.

<sup>5</sup> Molina, M.J. and Rowland, F.S., "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine-atom catalysed destruction of ozone", *Nature*, Vol. 249, 1974, pp. 810-812.

<sup>6</sup> Bauer, E., "A catalog of perturbing influences on stratospheric ozone, 1955-1975", *Journal of Geophysics Reserch*, Vol. 84, pp. 6929-6940.

<sup>7</sup> Ilyas, M., "Ozone depletion, ultraviolet-B and the tro-

pics". Ozone Depletion, Ilyas, M. (ed), Published by USM and UNEP, 1991, p. 35.

<sup>8</sup> Herman, J.R., 1996. NASA/Goddard Space Flight Center. <http://www.epa.gov/docs/ozone/science>.

<sup>9</sup> Farman, J.C., Garner, D.G. and Shanklin, J.D., "Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> relation", *Nature*, Vol. 315, 1985, p. 207.

<sup>10</sup> Gleason, J.F., Bhartia, P.K., Herman, J.R., McPeters, R., Newman, P., Stolarski, R.S., Flynn, L., Labow, G., Larko, D., Sefior, C., Wellemeyer, C., Komhyr, W.D., Miller, A.J., Planet, W., "Record low global ozone in 1992", *Science*, Vol. 260, 1993, p. 523.

<sup>11</sup> Stolarski, R., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C., Staehelm, J. and Zwodny, J., "Measured trends in stratospheric ozone", *Science*, Vol. 256, 1992, p. 343.

<sup>12</sup> Toon, O.B., and Turco, R.P., "Polar stratospheric clouds and ozone depletion", *Scientif American*, Junio 1991, pp. 40-47.

<sup>13</sup> Juárez, A., Gay, C. y Bravo, J.L., "Influence of urban ozone in the measurements of the total ozone column in Mexico City", *Atmósfera*, Vol. 8, 1995, pp. 35-43.

<sup>14</sup> Juárez, A., Gay, C., Reyes, N. y Conde, C. "Forzamiento radiativo en la ciudad de México debido a la presencia de ozono superficial". Memorias del Second Inter-American Environmental Congress, Monterrey, México, 1995, pp. 173-176.

<sup>15</sup> Riveros, H.G., Bravo, J.L., Páramo, V.H. y Tejada, J., "El ozono y el consumo de gasolina en la zona metropolitana", *Boletín de la Academia de Investigación Científica*, Julio-Agosto, 1993, p. 31.

<sup>16</sup> Madronich, S. y De Grujil, F.R., "Skin cancer and UV radiation", *Nature*, Vol. 366, 1993, p. 23.

<sup>17</sup> Faucheux, S. y Noël, J.F., *Las amenazas globales sobre el medio ambiente*, La Découverte, 1992.

<sup>18</sup> Ellsaesser, H.W., "The unheard arguments: A rational view on stratospheric ozone", *21st Century Science & Technology*, Vol. 7, 1994, No. 3, pp. 37-45.

<sup>19</sup> Brackemann, H. and Stemping, J.H. (editors), *Responsability Means Doing Without How to Rescue the Ozone-Layer*, The Federal Environment Agency, Germany, 1989, p. 23.

<sup>20</sup> Ilyas, M., *Ozone depletion implications for the tropics*. Editions Pub. Univ. of Science Malasia and United Nations Environment Program, 1991.

<sup>21</sup> Tevini, D.M., *UV-B radiation and ozone depletion: Effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials*, USA, 1993.