

Naturaleza y Medio Ambiente

La revolución industrial implantó en el mundo un concepto nuevo de sociedad y el incremento tecnológico ha llevado a utilizar la atmósfera como un vertedero de la civilización. La destrucción de la capa de ozono, las lluvias ácidas y el efecto invernadero están poniendo en peligro el futuro de la humanidad.

EL ALARMANTE AGUJERO DEL OZONO EN LA ANTÁRTIDA

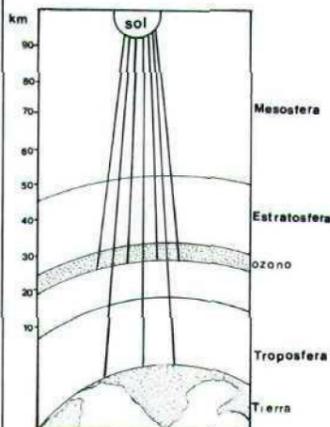
Por José Aguilar Peris

LA luz ultravioleta procedente del Sol, especialmente la banda espectral de longitudes de onda comprendida entre 200 y 300 nanómetros es bien conocida por los dermatólogos. Esta radiación posee la energía suficiente para producir en la piel del hombre graves quemaduras y aumentar la frecuencia del cáncer cutáneo. Igualmente numerosos microorganismos son sensibles a esta radiación y pueden incluso experimentar mutaciones o ser destruidos. Al atacar las poblaciones bacterianas puede modificar el ecosistema y destruir cosechas; al incidir sobre la superficie del mar destruye el plancton y con ello se altera toda la cadena alimentaria de los peces. Si esta radiación llegase libremente a la Tierra, la vida animal y vegetal sería imposible sin una protección especial.

El ozono estratosférico

Afortunadamente, esta protección existe a escala del planeta. Rodeando la Tierra y a una altura de 20 a 25 kilómetros, es decir, en la estratosfera, existe una capa de gas ozono (llamada por ello «ozonfera») que intercepta las radiaciones ultravioletas del Sol, de longitud de onda inferior a 300 nanómetros, y actúa, por tanto, como un escu-

do protector de los seres vivos. A su través sólo pasan las radiaciones de longitud de onda superior a este valor, y entre ellas una fracción del ultravioleta, que es incluso beneficiosa para el hombre, pues es la responsable de la síntesis de la vitamina D, necesaria para la fijación de calcio en los huesos. Esta capa de ozono está muy diluida. Si la comprimieramos verticalmente hasta la presión atmosférica, todo el ozono que contiene ocuparía a nivel del suelo una capa de unos 3 mm. de espesor.



La capa de ozono en la estratosfera intercepta la radiación ultravioleta de pequeña longitud de onda, actuando de escudo protector de los seres vivos de la Tierra.

Es comprensible, por tanto, el interés de la humanidad en preservar la capa de ozono y estudiar sus propiedades, y es comprensible también la alarma surgida en los últimos años ante el decrecimiento del espesor de la capa de ozono sobre la Antártida.

La primera interpretación teórica sobre las causas de la presencia de ozono en la estratosfera fue expuesta por el científico inglés Sydney Chapman en 1929. Es una teoría fotoquímica, según la cual el ozono se crea y se destruye constantemente por la acción de la radiación ultravioleta solar.

De este modo la concentración de ozono se ha mantenido prácticamente constante en la estratosfera durante millones de años absorbiendo la radiación ultravioleta nociva y evitando que llegue a la superficie de la Tierra. No obstante, el equilibrio es muy sensible y puede modificarse de un modo importante por la presencia de cuerpos extraños emitidos en las actividades humanas, como son los óxidos de nitrógeno y los compuestos clorofluorocarbonados (CFC).

Los compuestos nitrogenados

Ya durante los años 60-70 surgió el temor de que los óxi-

dos de nitrógeno que se emiten en los motores de los aviones de reacción que vuelan a gran altura podrían deteriorar la capa de ozono. El monóxido de nitrógeno (NO) reacciona con el ozono formando dióxido de nitrógeno (NO₂).

El NO₂ reacciona a su vez con el oxígeno atómico (presente en la estratosfera por la acción de la radiación UV sobre el ozono), originándose oxígeno molecular y NO.

El NO comienza de nuevo el ciclo atacando a otra molécula de ozono. El proceso es, pues, catalítico, y cada molécula de NO puede causar la destrucción de numerosas moléculas de ozono.

Fue el profesor H. S. Johnston, de la Universidad de California (Berkeley), el primero que llamó la atención sobre este proceso y afirmó que podría dañar fuertemente la capa de ozono en la atmósfera. A él se unieron numerosos científicos y voces de opinión en contra de los vuelos estratosféricos de los aviones supersónicos.

En esa época varios países rivalizaban en la construcción de aviones civiles supersóni-

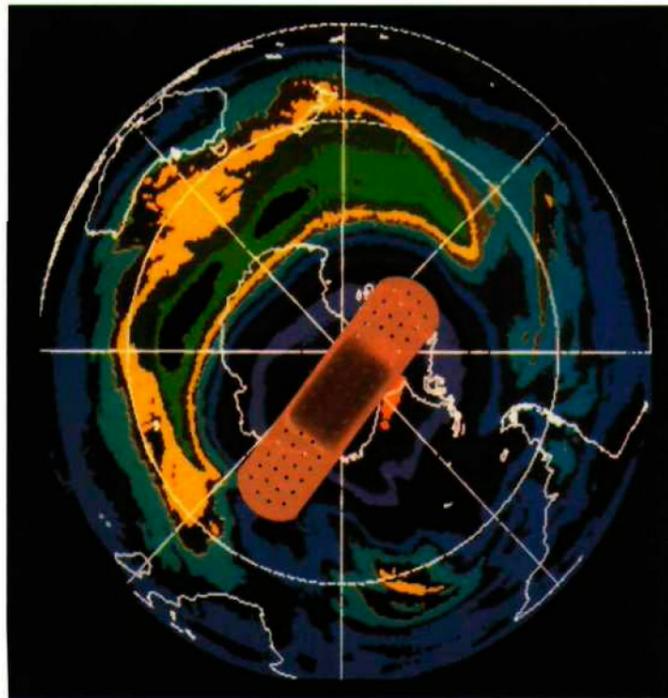
El tiempo medio de permanencia de los gases CFC en la atmósfera es del orden de un siglo. El 75 por 100 de estos elementos, vertidos entre 1960 y 1980, están todavía de camino hacia la atmósfera. Por ello, aunque el hombre dejara hoy de emitir CFC a la atmósfera, nada podrá impedir el deterioro de la capa de ozono en varios decenios de años

cos. Francia e Inglaterra construían en colaboración el Concorde, Estados Unidos ensayaba el Boeing-707 y la URSS experimentaba el Tupolev-144. En Estados Unidos una comisión oficial estudió el impacto de los óxidos de nitrógeno emitidos por estos aviones en la capa de ozono estratosférica y su informe fue tan inquietante que el Congreso (1971) votó en contra de la construcción del Boeing-707. Los cálculos demostraban que en sólo dos años, una flota de 500 aviones de este tipo podrían destruir un 10 por 100 de la capa de ozono. Por otra parte, el trágico accidente de un Tupolev-144 en 1978 retiró del tráfico aéreo a este modelo. Sólo quedó el Concorde, reducido a pocas unidades, con vuelos que no sobrepasan los 15 kilómetros de altura.

Un nuevo peligro: los gases CFC

En 1928 los químicos de la General Motors estaban de enhorabuena. En sus laboratorios habían sintetizado un gas cloro-fluoro-carbonado (CFC) de características ideales para muchas aplicaciones industriales. Comercializado con el nombre de «freon», estaba destinado a sustituir con muchas ventajas al amoníaco y al gas sulfuroso en refrigeradores y acondicionadores de aire. Posteriormente su uso se hizo también masivo en la producción de espumas de plástico y como gas propulsor en los frascos pulverizadores («sprays») utilizados en insecticidas, pinturas, perfumes, medicamentos, etc.

Estos gases son totalmente inertes. Liberados en la atmósfera no reaccionan con ninguna sustancia, carecen de toxicidad y no se disuelven en agua. Sin embargo, por su menor densidad ascienden libremente en el aire hasta alcanzar la estratosfera, donde establecen contacto con la capa de ozono. Allí, por la ac-



El agujero de ozono en la Antártida representa una grave herida causada por el hombre a la Tierra. La imagen, tomada por un satélite artificial, muestra los contenidos de ozono en distintas tonalidades.

ción de los rayos ultravioletas del Sol, los CFC se descomponen dejando en libertad un átomo de cloro que inmediatamente se oxida formando un radical clorado (ClO) capaz de romper la molécula de ozono, el ciclo se repite, destruyendo cada vez una molécula de ozono. Como un martillo incansable, cada uno de estos radicales puede suprimir él sólo a 100.000 moléculas de ozono que desaparecen de la estratosfera en una auténtica masacre química.

Este proceso de deterioro de la capa de ozono no se puso de manifiesto hasta que dos científicos de la Universidad de California, Mario Molina y Sherwood Rowland, publicaron en 1974 los resultados de sus investigaciones en la prestigiosa revista «Nature». En su artículo advertían que «si la producción y consumo de gases CFC siguen el ritmo actual, dentro de cien años se habrá destruido entre el 7 y el 13 por 100 del ozono atmosférico y la radiación ul-

travioleta incidirá con mayor intensidad sobre la Tierra, ocasionando graves daños sobre los seres vivos».

Estos resultados, junto con las mediciones realizadas mediante los satélites meteorológicos «Nimbus 4» y «Nimbus 7» y las obtenidas con globos-sonda estratosféricos, que confirmaban en todos los casos la pérdida progresiva del ozono, sensibilizaron de

La revolución industrial implantó en el mundo un concepto nuevo de sociedad y el incremento tecnológico ha llevado a utilizar la atmósfera como un vertedero de la civilización. La destrucción de la capa de ozono, las lluvias ácidas y el efecto invernadero están poniendo en peligro el futuro de la humanidad

tal modo a los medios de difusión y a la opinión pública que en 1978 la Administración norteamericana decidió prohibir el uso de los freones en los «sprays», con lo cual su porcentaje de producción bajó en un 40 por 100. Sin embargo, en 1984 EE.UU. volvió al mismo nivel de producción que seis años antes, pues el uso de los CFC en refrigeradores y otras aplicaciones siguió incrementándose.

El agujero de ozono en la Antártida

Fue en 1985 cuando la noticia sobre el deterioro de la capa de ozono volvió a resurgir con fuerza. Tres investigadores del «British Antarctic Survey», un equipo inglés de vigilancia en la Antártida, formado por J. Farman, B. Gardiner y J. Shanklin, denunciaban, en un artículo publicado de nuevo en la revista «Nature», la existencia de un importante adelgazamiento de la capa de ozono sobre el polo Sur. Entre 1977 y 1984 la proporción de ozono durante cada primavera austral disminuía en más de un 40 por 100. Los datos procedían de la base de Halley Bay en la Antártida, y poco después los investigadores de otras bases, como las de Amundsen-Scott y McMurdo, confirmaban esta información. La región de merma del ozono abarcaba una superficie que superaba los límites del continente antártico (unas treinta veces la superficie de España). La información por ordenador transmitida por el satélite Nimbus registraba en colores las zonas de distinta concentración de ozono. El mínimo de ozono se representaba en negro, y por ello este suceso se bautizó con el nombre de «agujero de ozono».

Los estudios realizados últimamente sobre el agujero de ozono parecen demostrar que su formación está relacionada con las características de la

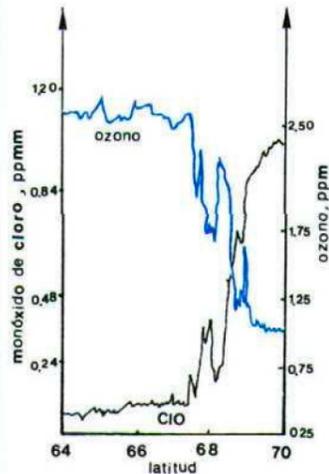
Naturaleza y Medio Ambiente

atmósfera antártica invernal que dan lugar a nubes estratificadas de hielo sobre un torbellino gigantesco centrado sobre el polo («vortex polar») y circundando el continente. Este torbellino perdura cuatro o cinco meses al año y encierra en su interior una enorme masa de aire frío que obstruye el paso a las corrientes de aire más ricas en ozono que proceden de las zonas tropicales imposibilitando que se neutralice el proceso destructor de este gas. Este proceso viene favorecido por las bajas temperaturas que existen sobre el vértice (inferiores a -85°C), las cuales activan la reacción de los gases CFC con el ozono. Esta reacción se inicia cada año en la primavera austral por la radiación ultravioleta de los primeros rayos solares después del largo invierno polar.

Esta teoría fue confirmada en 1986 cuando un avión Lockheed ER-2 (nueva versión del avión espía U-2) atravesó el torbellino polar y analizó espectrométricamente la concentración de ozono y la del radical monóxido de cloro que resulta en las reacciones depredadoras de los gases CFC. La anticorrelación entre ambas sustancias, creciente con la latitud, demuestra claramente que la máxima concentración de ClO se corresponde con el mínimo de concentración del ozono.

La formación y desaparición del agujero de ozono es cíclica, pero cada año la superficie del agujero es mayor. Aparece en agosto al finalizar el invierno antártico y el máximo deterioro se registra en el mes de noviembre. Al crecer las temperaturas, el torbellino se hace inestable y desaparece; el aire del polo se mezcla con el procedente de las regiones tropicales y el agujero se achica.

A primera vista puede extrañar que el agujero de ozono aparezca sobre el polo Sur y no sobre el polo Norte. Las



Variación del monóxido de cloro y del ozono sobre el continente antártico (medidas realizadas sobre un avión a través del vértice polar).

causas de esta asimetría son fundamentalmente geográficas. La Antártida está formada por tierra firme rodeada de océanos y la simetría favorece la estabilidad del torbellino polar. En cambio, el Ártico es un océano rodeado por tierras irregulares y asimétricas. El torbellino es aquí poco estable, su temperatura es de unos 10°C superior al de la Antártida y se desplaza rápidamente por el océano, lo que

La actividad delictiva de los gases CFC se multiplica en el polo Sur durante la primavera austral. Su trabajo más endiablado es el agujero de ozono, que ha puesto en peligro el futuro de la humanidad. Sin el escudo protector del ozono, los letales rayos ultravioleta solares no permitirían la vida sobre la Tierra

facilita la mezcla del aire ártico, pobre en ozono, con masas de aire tropicales. Más que un agujero, en el Ártico se producen varios «miniagujeros» y las pérdidas totales de ozono registradas hasta ahora son del 1,5 a 2 por 100.

En latitudes intermedias también disminuye el ozono. En los últimos diez años, la disminución de ozono acumulada es del orden del 6 por 100. Las avanzadas de las capas atmosféricas pobres en ozono procedentes de la Antártida alcanzan ya a Nueva Zelanda y la parte Sur de Australia. En estos países la radiación ultravioleta solar es tan intensa en la primavera austral que junto a las noticias meteorológicas y medioambientales se ofrece diariamente en la prensa el llamado «Burntime», es decir, el tiempo máximo que una persona puede permanecer al Sol sin riesgo de sufrir quemaduras.

Acuerdos internacionales

Si la capa de ozono sigue deteriorándose, la penetración de la radiación ultravioleta provocaría entre los habitantes de la Tierra una mayor frecuencia en los cánceres de piel y graves dolencias oculares. Nuestras defensas inmunitarias se reducirían y estaríamos expuestos a imprevisibles mutaciones genéticas. Se prevé también una inhibición de la fotosíntesis y, por tanto, una disminución importante de la producción vegetal. Esta infiltración excesiva de la radiación ultravioleta arrastraría igualmente a una inflexión de las temperaturas de la estratosfera, lo cual por inversión térmica daría lugar al calentamiento de la capa inferior, la troposfera, reforzando así el efecto de invernadero sobre la Tierra.

Los graves problemas que se plantean ante un futuro más o menos próximo por causa del deterioro de la capa

de ozono sólo pueden resolverse o al menos paliarse mediante acuerdos internacionales. Ante las presiones de los científicos y de la opinión pública, el 16 de septiembre de 1987 se consiguió un acuerdo que se denomina «Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que destruyen la capa de ozono» para reducir en un 50 por 100 los vertidos de CFC en la atmósfera desde esa fecha hasta 1999. Hasta el momento, cincuenta y seis países han firmado y aceptado las condiciones del Protocolo. Posteriormente otras cumbres mundiales se convocaron para que la reducción de los CFC alcance el 85 por 100 en 1995 y la supresión total para finales de siglo. Sin embargo, más de un centenar de países se resisten a firmar el Protocolo, entre ellos China y la India. Estas naciones sostienen que no firmarán el Protocolo si no se incluye en sus cláusulas la transferencia de tecnología adecuada para sustituir la fabricación de CFC por otras sustancias no dañinas.

Últimamente se ha dado un gran paso hacia la protección permanente de la Antártida. Una cumbre de 26 países, celebrada en Madrid, aprobó por consenso el pasado 30 de abril un documento según el cual la Antártida será «reserva natural dedicada a la paz y a la ciencia». El acuerdo más importante es la prohibición de explotar los recursos mineros del continente antártico durante los próximos cincuenta años. Si el texto recibe, como es de prever, el visto bueno de los respectivos gobiernos, volverá a Madrid para ser firmado y adoptado oficialmente. En él se aportan disposiciones sobre los estudios de impacto ambiental para todas las actividades humanas —incluida la científica— que tengan lugar en la Antártida. ■

José Aguilar Peris es profesor emérito de la Universidad Complutense.