La capa de ozono*

Investigadores observan la pérdida de la capa protectora[1]

La preocupación acerca de la capa de ozono desapareciendo sobre la Antártida es familiar para mucha gente. Pero parte de la historia no es bien conocida: su adelgazamiento en las regiones de latitudes medias, las cuales incluyen algunas de las áreas más pobladas de la tierra. Y aunque el mecanismo detrás del agotamineto del ozono en los polos es generalmente entendido, los detalles del proceso en latitudes medias permanecen oscuros.

Sin embargo, recientemente, un equipo de investigadores ha empezado a caracterizar el ciclo de pérdida y regeneración del ozono que ocurre en el Hemisferio Norte. Los nuevos hallazgos decriben la forma en que varios compuestos, no sólo el infame cloro - fluor - carbono (CFC), contribuyen a esa pérdida. Los resultados tienen implicancias significativas para un plan de los Estados Unidos de construir aviones comerciales supersónicos.

Los científicos y políticos consideraron por primera vez el agotamiento del ozono en las latitudes medias a fines de los 70.

Consideraron el impacto ambiental de una flota de aviones que volarían a velocidad mayor que el sonido a alturas de entre 17 a 20 km. (la estratósfera inferior). Con unas pocas mediciones, para empezar, la mayoría de los expertos sospecharon que los óxidos de nitrógeno de los escapes probarían ser el más significativo destructor del ozono.

Sin embargo, resultó que una severa desaparición del ozono salió a la luz en otro rincón del planeta. En 1985 la investigación antártica británica, descubrió un hueco en la capa de ozono sobre el Polo Sur y los

[1] De la obra *Sowing The Wind.*

científicos atmosféricos se reunieron para determinar qué lo había producido. En 1991 los CFC habían sido firmemente establecidos como la causa principal. Estos compuestos contienen cloro, que puede romper la molécula de ozono O_3. Esta tríada de oxígeno absorbe luz ultravioleta (UV), usando la energía para romper O_3 en O_2 y O y evitando que la peligrosa radiación alcance la superficie de la tierra. Los CFC y otros productos químicos evitan que el O_2 y O se recombinen y restablezcan la capa de ozono.

El mundo continúa manteniendo bajo estrecha observación la estratósfera del sur. En 1993 los niveles de ozono cayeron ahí en alrededor del 60%. Quizás porque no está caracterizado por un agujero, el adelgazamiento en latitudes medias ha recibido menos atención. Sin embargo, las observaciones pueden apuntar a una tendencia: entre 1978 y 1990, los niveles del ozono sobre Norte América cayeron un 0.5% por año. En 1993 la pérdida total alcanzó 7.5%

Para determinar qué produce el adelgazamiento en esas regiones, la Expedición de Fotoquímica Atmosférica, Aerosoles y Dinámica de la NASA proyectó enviar nueve vuelos a la estratósfera de latitudes medias durante 1993. Los científicos creen que las temperaturas más altas, trayectoria variable de los vientos y presencia de partículas de aerosoles de ácido sulfúrico, pueden diferenciar la pérdida del ozono en latitudes medias de los procesos polares. Por lo tanto el programa de la NASA midió concentraciones de ozono, partículas de aerosol, óxidos de nitrógeno, óxidos de hidrógeno y CFC entre otros compuestos.

De acuerdo con Paul O. Wennberg, de la Universidad de Harvard, parece que los óxidos de hidrógeno - no los óxidos de nitrógeno - son responsables hasta en un en 50% de la pérdida de ozono observada debajo de los 20 km. Modelos recientes habían predicho este descubrimiento, pero nadie podía medir óxidos de hidrógeno en la estratósfera inferior porque están presentes en muy bajas concentraciones. Para enfocar este problema, el grupo bajo la dirección de James G. Anderson desarrolló un equipo láser de estado sólido capaz de registrar concentraciones por debajo de 0.1 partes por trillón.

La información existente "muestra que hay una región que puede ser segura para el vuelo de aviones supersónicos donde el óxido de nitrógeno del escape no sería perjudicial", explica Carold Harold S. Johnston, de la Universidad de California, en Berkeley. Sin embargo, lo que define dicha zona de vuelo parece variar. Los nuevos conocimientos han llevado el tope de dicha zona hasta una altura de 20 Km. desde los 13 Km. señalados en 1970. Johnston advierte que los óxidos de nitrógeno todavía se cree que sean los más importantes compuestos destruc-

tores del ozono encima de los 30 Km.

Las presiones económicas y políticas para entender esta particular química son muy vastas. Una flota de, digamos, 500 aviones de alta velocidad podrían representar para la Industria Aeronaútica de los Estados Unidos ventas por 100,000 millones de dólares. Por ahora los Jets supersónicos deben permanecer en los tableros de dibujo. Richard S. Stolarski, del Centro Goddard de vuelos espaciales de la NASA, señala que, a pesar de los hallazgos recientes, es aún necesario el análisis intensivo de la viabilidad económica y ambiental de los aviones.

También deben ser considerados los efectos del agotamiento del ozono sobre la salud. Los informes sobre el incremento de la radiación ultravioleta en América del Norte han sido asociados a los decrecientes niveles de ozono atmosférico. Los investigadores continúan estudiando los posibles efectos a largo plazo sobre las plantas y animales: las dosis de exposición contribuyen al cáncer de la piel y pueden debilitar el sistema inmunológico.

Los vínculos no son siempre evidentes. Un equipo canadiense conducido por Max Bothwell, del Instituto de Investigación Hidrológica Nacional en Saskatchewan, informó el último verano que una alta exposición UV (ultravioleta) dio como resultado mayores poblaciones de algas. Aparentemente, la radiación afectó a los insectos que se alimentan de algas más que a las mismas algas. Como dice Bothwell, "los efectos de la radiación UV son más complejos de lo que pensamos".

Lo cierto es que el asunto del agotamiento del ozono en las latitudes medias continúa revelando complejidades inesperadas. Anderson resume el problema encarado por cada uno de los que estudian tal agotamiento con una palabra: incertidumbre. "Simplemente no entendemos la estratósfera de fondo a tope en las medias latitudes", dice. "Claramente, hay potencial para mayores sorpresas".

El hueco en la sombrilla de ozono[2]

Durante veinticinco años, la Estación Metereológica Británica en la bahía Halley ha estado monitoreando la concentración de ozono en la columna de aire sobre la Antártida, y esta información ha sido transmitida a Inglaterra. Al mismo tiempo, se han tomado mediciones

[2] De *Scientific American*. Enero, 1995.

con instrumentos a bordo del satélite norteamericano Nimbus 7. Estas lecturas han sido recolectadas en el Laboratorio para la Atmósfera en el Centro Espacial Godard.

Desde 1977 el equipo británico había estado obteniendo lecturas anómalas en la primavera antártica, pero éstas estaban tan fuera de lo normal que los técnicos pensaban que debían de representar un error instrumental y no las incluían en sus informes. La misma falsa suposición fue programada en la computadora de la NASA. Fue instruida para rechazar lecturas que se desviaran más de una cantidad arbitraria debajo de la normal. El hecho que esto ocurría cada octubre, cuando el Nimbus 7 pasaba por la Antártida, no fue notado como hecho significativo hasta que el líder del equipo británico, Joseph Farman, entró en sospechas de las muy bajas lecturas que habían sido medidas en la estación cada setiembre y octubre. Aun cuando estas lecturas no habían sido corroboradas por los datos de la NASA, decidió publicar su información. Su documento, publicado en mayo 1985 en "Nature", causó considerable excitación y preocupación en la comunidad internacional de científicos atmosféricos.

De acuerdo con los datos del satélite (que no habían sido informados, pero sí conservados), las concentraciones de ozono caían cada año a fines de setiembre, disminuyendo eventualmente a una fracción de su valor normal (hasta la mitad, en 1987), permaneciendo en niveles bajos durante octubre. Luego, en cada noviembre aumentaba hasta la cantidad promedio y continuaba aumentando con el inicio del verano polar. Este fenómeno empezó alrededor de 1977 y su agotamiento ha continuado siendo más severo desde esa época. Aunque hubieron fluctuaciones cada año, el hueco crecía conforme el tiempo pasaba. A fines del 80 este hueco de ozono enrarecido cubría un área similar a la de Estados Unidos. Ahora hay alguna evidencia de que está empezando a afectar parte de otros continentes meridionales.

Alrededor de 1974, los científicos plantearon la posibilidad que los productos químicos conocidos como cloro - fluor - carbono (CFC) podrían destruir el ozono en la estratósfera. Estos productos químicos tienen características especiales que los hacen muy útiles. Son moléculas extremadamente inertes que no reaccionan con otras sustancias en la atmósfera inferior. No son tóxicos ni irritantes, de modo que se consideran muy seguros para usarlos como proplentes para spray. También son muy eficientes como fluidos para intercambio de calor en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, y son muy seguros como agentes sopladores en la manufactura de espuma plástica. Aunque estaban siendo expelidos a la atmósfera grandes cantidades de gases desde

estos artefactos (aproximadamente 1.7 millones de libras anuales en 1973), se los creía libres de efectos colaterales.

Sin embargo, se le ocurrió a un profesor de química de la Universidad de California, en Irving, Scherwood Rewland, que esta cualidad de inerte podía ser alterada por exposición a luz ultravioleta muy intensa - la luz que en efecto es absorbida por el ozono en la estratósfera. Esta hipótesis fue verificada en el laboratorio y se encontró correcta. Cuando recibe energía de radiación ultravioleta, el CFC se descompone entregando, entre otros productos, uno o más átomos de cloro. Cada uno de estos átomos, actuando como catalizador, transforma un átomo de oxígeno y una molécula de ozono en dos moléculas de óxigeno normal. En el proceso, el átomo de cloro queda libre y está listo para realizar nuevamente su función catalítica.

El ser inerte, que era una ventaja ambiental a nivel de tierra, se convierte en una gran desventaja cuando el CFC inicia su recorrido a través de la atmósfera. Transportado en las erráticas corrientes verticales que normalmente mezclan el aire a través de la tropósfera, una molécula puede demorar una década en alcanzar la tropopausa; la mayoría de moléculas son tan inestables o reactivas que mucho antes de alcanzar este nivel, han cambiado su identidad o han sido arrastradas por la lluvia. Pero las moléculas de CFC hacen el viaje intactas y eventualmente llegan al borde superior de la tropósfera.

Encima de este punto, la inversión de temperatura detiene el movimiento ascendente. La molécula CFC, sin embargo, no tiene apuro; su estructura estable le da larga expectativa de vida. Eventualmente la circulación en la estratósfera la lleva hasta alturas de aproximadamente 20 millas, donde encuentra radiación de suficiente intensidad para descomponerla y liberar los átomos de cloro.

Las mismas condiciones atmosféricas que demoran la difusión de CFC en la estratósfera causan un largo tiempo de residencia de los átomos de cloro en la capa de ozono. Permanece allí, ya sea en estado libre o como monóxido de cloro (el cual participa en la destrucción catalítica del ozono), por una o hasta dos centurias. Debido a los extensos lapsos involucrados en el transporte de CFC a la estratósfera y su larga residencia allí, el efecto no responde rápidamente a la reducción de emisiones. Los químicos estimaron, en 1976, que si la emisión de estos productos químicos se detuvieran inmediatamente la reducción del ozono continuaría por lo menos cien años.

Pero las emisiones no se detuvieron en la década del 70. Aunque los Estados Unidos prohibieron su uso en la mayoría de envases de

spray, en todo el mundo continuó en aumento. Durante la siguiente década las mediciones (incluyendo aquéllas tomadas en la Estación Británica y en el Nimbus 7) empezaron a revelar ligeros aumentos en la concentración de la capa de ozono en todo el mundo. Pero nadie estaba preparado para la noticia del dramático agotamiento que tenía lugar sobre la Antártida cada primavera austral.

Desde el descubrimiento del hueco, los químicos y metereólogos han estado trabajando intensamente para identificar las causas de la destrucción del ozono, así como las características que hacen a la Antártida única por su respuesta estacional. Aunque habían sido implicados los CFC, también se conocía que ciertos óxidos de nitrógeno en la presencia de luz ultravioleta podían actuar como catalizadores, iniciando reacciones que destruyen el ozono convirtiéndolo en óxigeno normal. La mayoría de los óxidos de nitrógeno creados a nivel del suelo no son lo suficientemente estables para alcanzar la estratósfera por los procesos usualmente lentos del movimiento natural del aire. Sin embargo, las pruebas de armas nucleares proporcionan un eficiente sistema de transporte entregando los productos de reacciones de alta temperatura directamente a la estratósfera. El calor de la explosión causa un flujo ascendente tan poderoso como un huracán directamente sobre el lugar de la detonación. La rápida corriente ascendente de aire actúa como una chimenea succionando todos los productos de la reacción hacia la alta atmósfera. Afortunadamente, las pruebas nucleares en la atmósfera han sido restringidas, de modo que esta fuente de óxidos de nitrógeno estratosférica no ha sido un factor importante. Pero los científicos advierten que una guerra nuclear podría destruir la capa de ozono haciendo que cualquier vida remanente en la tierra pudiera ser destruída por los rayos ultravioleta del sol.

Hay otra forma mediante la cual los óxidos de nitrógeno pueden alcanzar la estratósfera. Y este proceso depende no de la enorme fuerza de una explosión nuclear sino de la acción de diminutas bacterias que viven en el suelo de la corteza terrestre. La bacteria denitrogenadora ayuda al proceso de descomposición de la materia orgánica. Ellas deshacen el trabajo de las bacterias fijadoras de nitrógeno, convirtiéndo los nitratos en nitrógeno gaseoso. También se produce un óxido nitroso, producto químico popularmente conocido como el gas de la risa. Este es un óxido de nitrógeno inusualmente estable y puede hacer el largo viaje a través de la atmósfera hasta la capa de ozono.

En años recientes, se han añadido fertilizantes nitrogenados

para estimular el rápido crecimiento de las cosechas. Cualquier exceso no usado por las plantas permanece en el suelo y es descompuesto por las bacterias denitrogenadoras, añadiéndose a la cantidad de óxido de nitrógeno liberado en la superficie de la tierra.

Esta nueva fuente es sujeto de gran preocupación debido a que también actúa como gas de invernadero contribuyendo al calentamiento global y debido a que el uso de fertilizantes a nivel mundial indudablemente aumentará conforme crecen las poblaciones y se demanda un uso más eficiente de las tierras de cultivo.

Ocurre, sin embargo, que la presencia de óxido nitroso en la estratósfera es un factor menor comparado con los átomos libres de cloro procedentes de los CFC. En efecto, el óxido nitroso entra en reacción con los átomos de cloro en combinación con oxígeno y agua y el resultado final de estas reacciones es nitrato de cloro, un compuesto relativamente inactivo. Así, dos de los principales catalizadores para la destrucción del ozono son neutralizados mutuamente. Estos compuestos eventualmente se descomponen si encuentran un enérgetico fotón de luz o reaccionan con otros productos químicos, pero por un tiempo, al menos, forman una masa inactiva, que anula el efecto catalizador para la destruccón del ozono.

¿Por qué en la Antártida?[3]

Debido a su extremadamente frío invierno, la Antártida es el único lugar del mundo donde se forma una considerable nubosidad a gran altura, realmente en la capa de ozono. Estas nubes consisten de pequeños cristales de hielo, y otras moléculas, que flotan en el aire enrarecido, tienden a colectarse en la superficie de estos cristales. Las moléculas de nitrato de cloro, entre otras, son atraídas por los cristales de las nubes. Muchas reacciones químicas que ocurren lentamente, cuando las moléculas se están moviendo libremente en un gas, tienen lugar más rápidamente sobre la superficie de las particulas. Nadie sabe exactamente qué reacciones ocurren sobre los cristales de hielo durante los largos, oscuros "días" de invierno. Pero cuando el sol retorna en la primavera y la atmósfera se calienta, los cristales de hielo se funden y la luz ultravioleta brilla sobre las diminutas gotas, los compuestos se rompen y liberan los átomos de cloro, libres para proseguir su actividad de destrucción del ozono.

[3] De *Scientific American*. Enero, 1995.

La circulación de los vientos en la región polar del Sur también contribuye al aislamiento de una masa de aire que no se mezcla regularmente con otras masas de aire del Hemisferio Meridional. En la estratósfera, el aire circula desde latitudes tropicales (donde se forma la mayoría del ozono) hacia las regiones polares transportando aire rico en ozono. En el Hemisferio Norte esta circulación normalmente llega hasta el Polo, y los niveles de ozono alcanzan allí niveles muy altos. Pero en en el Hemisferio Sur, durante los meses más fríos, la circulación se detiene alrededor de los 60 grados, impedida por torbellinos de viento. En la primavera, el vértice polar se disipa, permitiendo un rápido ingreso de aire proveniente de bajas latitudes. Entonces se restablece la concentración de ozono.

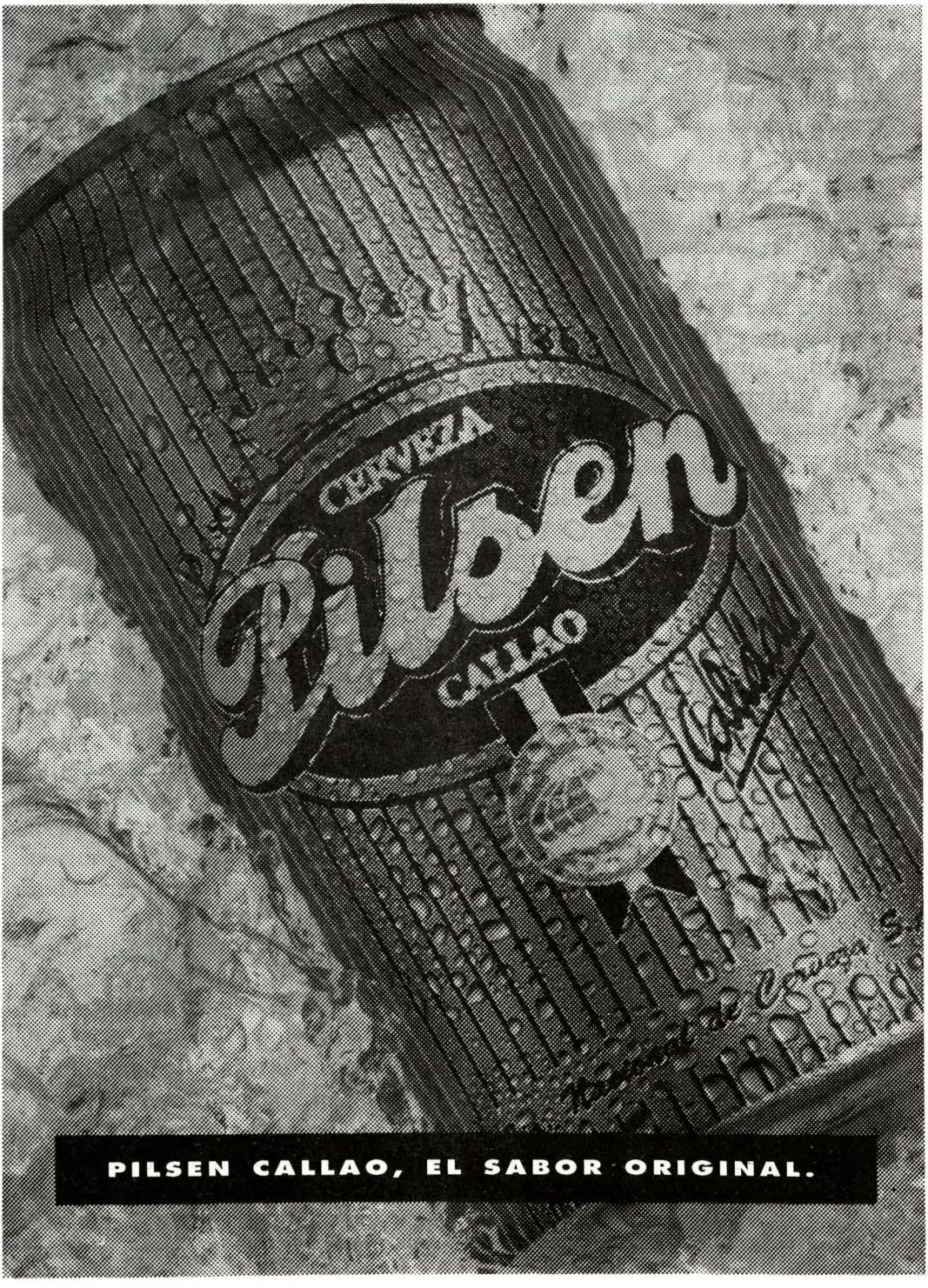
La ruptura del vértice polar permite al aire pobre en ozono desplazarse fuera de la región polar y diluir la capa de ozono sobre las posiciones meridionales de Nueva Zelandia, Sud África y Sud América. Evidencia de este fenómeno fue informada por revistas científicas en 1989. En diciembre ocurre el inicio de los meses de verano en esta región, cuando el sol está alto y la gente está empezando a disfrutar de las playas. Este adelgazamiento de la capa protectora es suficiente para hacer que un 14% más de radiación ultravioleta llegue a la superficie. Por eso, en los días más soleados, la gente que vive en estas partes del mundo debía ser advertida de permanecer bajo techo para protejerse de la radiación solar.

El Polo Norte no experimenta las extremadamente bajas temperaturas que son un fenómeno regular en invierno en el Antártico, por lo que las nubes de hielo en la estratósfera no son tan extensas y las partículas no permancen congeladas mucho tiempo en la primavera. Sin embargo, en invierno también existe el vértice polar, pero es mucho más débil y desaparece más temprano. Estas condiciones en el Ártico hacen que las dramáticas pérdidas de ozono observadas sobre la Antártida no se dupliquen en el Polo Norte. A pesar de lo cual, los investigadores que han estudiado las condiciones en el invierno del Ártico están preocupados que pueda ocurrir también allí una considerable destrucción.

En 1988 y 1989, equipos de científicos volaron dentro del hueco de ozono en la Antártida y su contraparte potencial en el Ártico. Una versión modificada del avión espía U-2 fue convertida en laboratorio volante, equipado con instrumentos computarizados para tomar mediciones continuas de la química de la atmósfera. Este avión lleva sólo un hombre y es capaz de volar a gran altura. Viaja confortablemente, a más de 160,000 pies, directo al corazón de la capa de ozono. Otro avión también usado es el DC-8, que no puede volar tan alto pero transporta un grupo de observadores científicos y un equipamiento mucho más pesado para hacer observaciones remotas.

La información recolectada en estos vuelos ha verificado el decisivo rol del átomo de cloro en la destrucción del ozono. Niveles sorprendentemente altos de monóxido de cloro están presentes en el hueco de ozono y los reservorios inactivos de nitrato de cloro desaparecen durante los meses de primavera en la Antártida. En el Artico, también los niveles de monóxido de cloro son elevados, aunque no tan altos como en la Antártida. La química de estas dos porciones de la estratósfera está más perturbada que lo que esperaban los teóricos y ahora hay preocupación respecto a que la integridad de la capa de ozono puede estar más severamente amenazada que lo que se ha reconocido. Mediciones tomadas en setiembre y octubre de 1989 indican una pérdida tan severa sobre la Antártida como ocurrió en 1987, el año previamente considerado récord para el hueco. Han ocurrido variaciones anuales y han parecido caer durante la última década en un gráfico bianual.

*Traducción por el vicealmirante (r) Ricardo Zevallos Newton.


CERVEZA
CALLAO
PILSEN CALLAO, EL SABOR ORIGINAL.