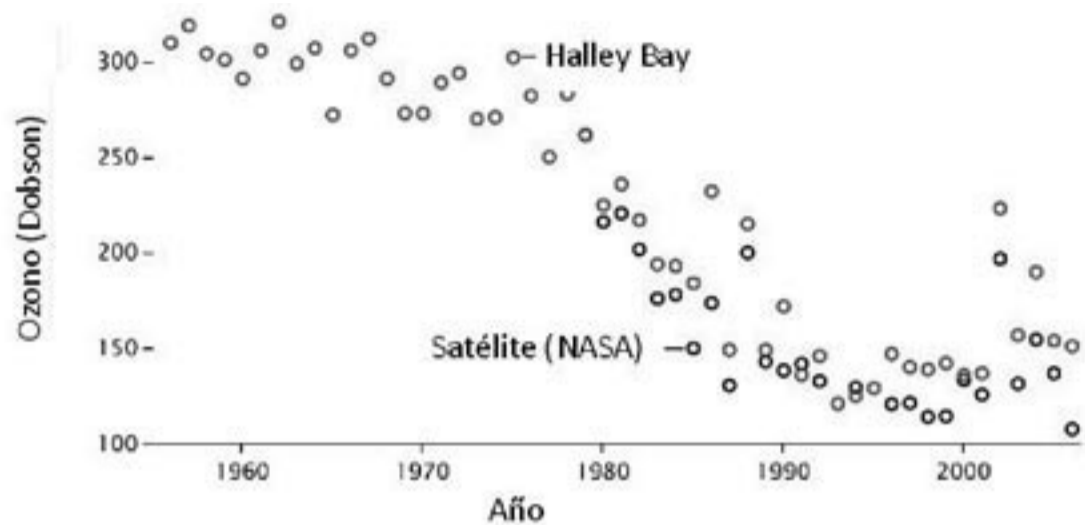


La indispensable capa de ozono



1. Evolución temporal del adelgazamiento de la capa de ozono en la Antártida, en unidades de Dobson. Es impresionante observar un decaimiento del espesor de la capa de 6 veces en sólo 20 años. Nótese la concordancia entre las mediciones hechas desde la superficie de la tierra (círculos rojos) con las realizadas por satélite (círculos azules). Asimismo es interesante observar cómo se apunta una tendencia hacia la recuperación de la capa a partir del año 2000, aproximadamente.

Jaime de Urquijo

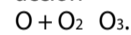
Laboratorio de Plasmas de Baja Temperatura
Instituto de Ciencias Físicas
Universidad Nacional Autónoma de México
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos
jdu@fis.unam.mx

La capa de ozono que se encuentra en la *estratósfera* terrestre (entre 20 y 30 km de altura) absorbe la mayor parte de la *radiación ultravioleta* proveniente del Sol. Esta capa contiene cantidades relativamente altas de ozono (O_3 , por su fórmula química), aunque aún muy pequeñas (menos de diez partes por millón) si se las compara con las del oxígeno molecular (O_2) que respiramos. La capa de ozono absorbe 97-99% de la radiación solar ultravioleta de frecuencia media, correspondiente a longitudes de onda entre 200 y 315 nm (un nanómetro, abrevia-

do nm, es la millonésima parte de un metro, o 10^{-9} m). Debido a la relativamente alta energía de los fotones correspondientes a estas longitudes de onda, ésta radiación es dañina para la vida en la superficie terrestre.

La capa de ozono se forma gracias a una serie de *reacciones fotoquímicas* (reacciones químicas en las que interviene la luz). Primeramente, la luz ultravioleta (UV en lo que sigue) al chocar con el oxígeno diatómico, O_2 , lo descompone en dos átomos según la reacción $O_2 + h_{uv} \rightarrow O + O$, donde h_{uv} denota un *fotón* de luz UV. En otras palabras, la energía de este fotón de UV se ha gastado en disociar o romper la molécula de oxígeno y, hablando en términos coloquiales, se ha sacrificado para que dicha radiación no alcance la *tropósfera*, es decir, la superficie de la tierra donde habitan los seres vivos. Continuando con las reacciones, uno de estos dos átomos

de oxígeno, O , puede asociarse con el oxígeno diatómico, O_2 , para formar ozono, O_3 , mediante la reacción



Nótese que la reacción es reversible, ya que si un fotón de luz UV choca con la molécula de ozono, ésta se disocia en $O + O_2$. Una vez más este proceso evita que dicho fotón de UV llegue a la tropósfera. A este proceso se le denomina el ciclo de ozono-oxígeno.

Sin entrar mucho en los detalles, es importante mencionar que la radiación UV que llega a la Tierra se divide en tres *bandas*, según los intervalos de longitudes de onda: Banda A (315-400 nm), banda B (280-315 nm) y banda C (200-280 nm), recordando que cuanto menor sea la longitud de onda mayor será la energía del fotón, y, por lo tanto, más perjudicial para las formas de vida sobre la Tierra. Las bandas A y B son las responsables de la formación y destrucción del

ozono, y por lo tanto poca radiación de éstas llega a la tropósfera; sin embargo, la luz UV correspondiente a la banda C sí atraviesa la capa de ozono y llega a la superficie de la Tierra. Esta radiación puede causar daños severos a la piel a largo plazo. Por último, la radiación de mayor energía en el intervalo 10-100 nm es detenida por el nitrógeno. Es importante advertir al lector que, en tanto la capa de ozono estratosférico es indispensable para la vida en la Tierra, el ozono troposférico, es decir, correspondiente a la capa atmosférica más cercana a la Tierra, y producido por la acción industrial, es nocivo para la salud.

La capa de ozono fue descubierta en 1913 por los físicos franceses Charles Fabry y Henri Buisson. Sus propiedades fueron estudiadas en mayor detalle por el británico G. M. B. Dobson, quien pudo medir la concentración de ozono estratosférico desde la Tierra, estableciendo una red mundial de estaciones de monitorio entre 1928 y 1958. En su honor, la unidad medida de la *densidad columnar* de ozono se ha llamado Dobson.

Desde las postrimerías del siglo XIX hasta hace solo unos veinte años, hubo un desarrollo vertiginoso de compuestos basados en cloro, flúor y carbono, conocidos con el nombre genérico de *clorofluorocarbonos*, o brevemente, CFCs. Estos compuestos, tales como el tetracloruro de carbono (CCl_4) o el CFC12 (CCl_2F_2), se usaron ampliamente en la industria de los refrigerantes, los solventes, los aerosoles y extinguidores de fuego, liberándose miles de millones de toneladas de estos gases a la atmósfera sin ningún control ni regulación.

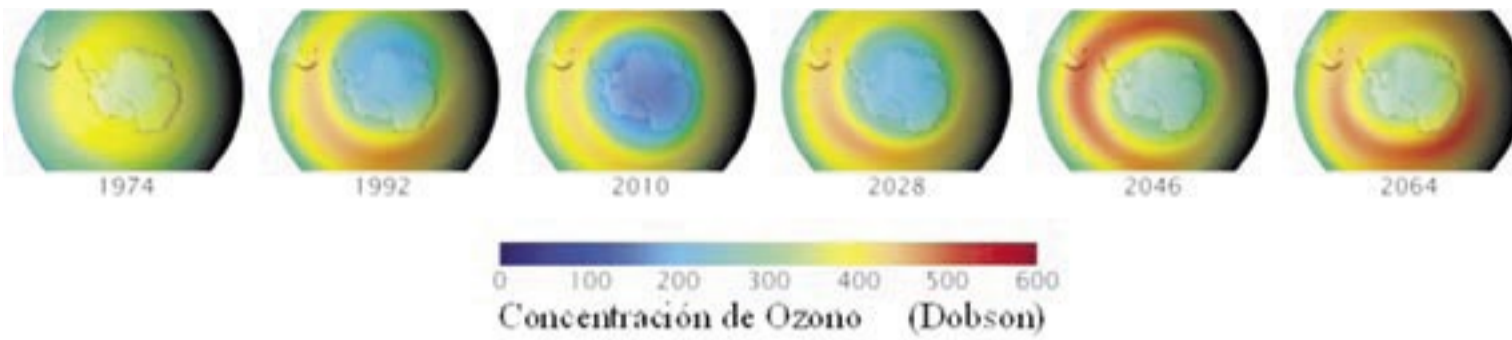
En 1973, los químicos Frank Sherwood Rowland y Mario Moli-

na, entonces en la Universidad de California, comenzaron a estudiar el impacto de los CFCs en la atmósfera terrestre. Descubrieron que estas moléculas eran lo suficientemente estables para llegar a la estratósfera después de 50 a 100 años, y ya en esta región, ser destruidas por la radiación UV solar. Cuando esto ocurre, se libera un átomo de cloro que, al reaccionar con el oxígeno, puede formar moléculas estables, resistentes a la radiación ultravioleta. Por lo tanto, debido a este proceso, se puede despoblar la capa de ozono del oxígeno necesario para mantener el ciclo ozono-oxígeno que durante unos dos a tres mil millones de años ha estado bloqueando la entrada de la radiación UV-C y UV-B, y por lo tanto fomentando la presencia de vida en la superficie terrestre. La consecuencia de este fenómeno, se predecía, sería el aumento de la radiación UV-B, y por ende el aumento en el cáncer de piel, el daño a los cultivos agrícolas y al *fitoplancton* marino, entre otros. La capa de ozono también se puede reducir por otros gases tales como el óxido nítrico (NO), el óxido nitroso (N_2O), el bromo (Br) y sus bromofluorocarbonos, y el radical hidroxilo (OH).

La hipótesis Rowland-Molina fue refutada por representantes de las industrias de aerosoles y halocarbonos. Por ejemplo, el presidente de la compañía DuPont afirmó que la teoría era "*un cuento de ciencia-ficción y un montón de basura*". Sin embargo, el Congreso de los Estados Unidos apoyó la continuación de esos estudios hasta que en 1976 la Academia Nacional de Ciencias de ese país confirmó la credibilidad de la hipótesis acerca de la reducción de la capa de ozono. En 1985, científicos británicos dedicados al estudio de la Antártida reportaron mediciones de niveles anormalmente bajos de ozono cerca del Polo Sur, las cuales concordaban con las de la NASA, hechas desde sus satélites, tal como se ilustra en la figura 1. Estos estudios, que confirmaron la hipótesis del "*agujero de ozono*", y de los efectos que a futuro podría causar, dieron lugar al Protocolo de Montreal. En ese mismo año, la mayoría de los productores de CFCs y 20 naciones firmaron la Convención de Viena, la cual establecía un marco que permitiera negociar una reglamentación internacional sobre sustancias reductoras de ozono. Así las cosas, bastaron sólo 18 meses después del descubrimiento del agujero de ozono en la Antártida para llegar a un acuerdo en Montreal. Veintidós años después de su primer hallazgo, Molina, Rowland y Crutzen recibieron el premio Nobel de Química en 1995.

El *Protocolo de Montreal* sobre las sustancias que reducen la capa de ozono es un tratado internacio-

CONTIÚA EN LA PÁG. 32



2. Evolución del agujero de ozono sobre la Antártida desde 1974 hasta 2064. La barra de colores debajo de las figuras indica la densidad de la capa de ozono en unidades de Dobson. La escala va desde los tonos azules que indican la desaparición de la capa (cero) hasta los tonos rojos, que indican abundancia. Las tres primeras figuras, correspondientes a 1974, 1992 y 2010 se han construido con mediciones, en tanto que las restantes, hasta 2064, son calculadas.

nal hecho para proteger la capa de ozono al disminuir y eventualmente cancelar la producción de numerosas sustancias que contribuyen a la reducción del ozono troposférico. El tratado se abrió el 16 de septiembre de 1987, entró en vigor el 1 de enero de 1989 y se

ha revisado siete veces. Todos los países miembros de la ONU han ratificado el tratado, y se espera que la capa de ozono vuelva a su condición original hacia mediados de este siglo.

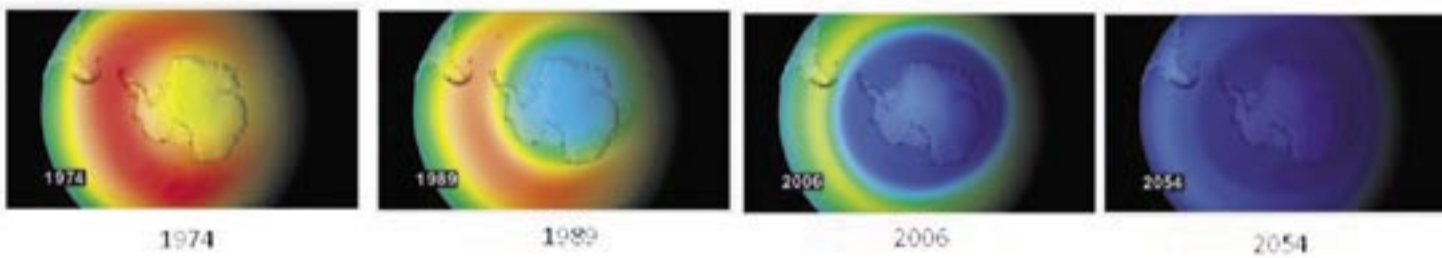
En la figura 2 se ilustra la evolución de la capa de ozono en la Antártida

entre 1974 y 2064. Las gráficas desde 2028 hasta 2064 son cálculos, en tanto que las de años anteriores son resultado de mediciones. Los niveles de concentración van, de acuerdo con la barra de colores, desde los bajos, en tonos azules, hasta los altos en rojo.

Las gráficas de la figura 3 son particularmente ilustrativas de lo que habría ocurrido si no se hubiera implementado y seguido el protocolo de Montreal. En efecto, hacia el año 2054, es decir a sólo cuarenta años de hoy, el agujero de ozono se habría vuelto permanente,

cubriendo prácticamente el hemisferio sur, y afectando también el hemisferio norte, a pesar de que cuenta con una capa de ozono más robusta. Los efectos sobre la vida en el planeta habrían sido devastadores.

Lo anterior es sólo un ejemplo más –y muy claro– de la enorme utilidad de la ciencia básica y aplicada para resolver problemas globales, por una parte, y por la otra, el hecho de que únicamente una acción colectiva mundial puede conseguir este tipo de soluciones. Ojalá se pueda decir muy pronto algo similar al respecto del protocolo de Kyoto, relativo a la reducción sustancial de *gases invernadero*, ya que hasta la fecha no se han conseguido acuerdos a nivel mundial, principalmente por la reticencia de algunos de los países más industrializados.



3. En esta secuencia se muestra la evolución del agujero de ozono en la Antártida, a partir de 1974, si no se hubiera detenido la producción de CFC's. De acuerdo con el modelo usado para el cálculo, hacia 2054 el agujero de ozono habría sido permanente, y a nivel global habría decaído a sólo el 33% del que había en 1974.

Referencias
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=38685&src=eoai-iodt>
http://www.nasa.gov/topics/earth/features/world_avoided.html

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org.mx

TRIATLÓN ASPID

Triatlón Mérida 2 de enero 2014

Transporte	Salida Miércoles 29/01/14	Regreso 02/02/14	Bicicletas Cuernavaca	Bicicletas México DF
Solo atleta o familiar \$2,000 Atleta y bici \$3,300	Viernes 4 am Cuernavaca Tienda Try Aspid **Pagar antes del jueves 30 de enero	Domingo 2 pm ** puede cambiar a lunes 6 am si hay 5 atletas confirmados para regreso Tienda Try Aspid Av. Río Mayo 304 local C	\$1,500 Cuernavaca - Mérida - Cuernavaca Recolección Tienda Try Aspid 27 de enero de 11 am - 7 pm Devolución Tienda Try Aspid 5 al 7 de febrero de 11 am - 7 pm * \$50 cobro almacenaje después del 07/02/14	\$1,700 México - Mérida - México Recolección a domicilio Miércoles 27 de enero *agendar cita lunes 13 de enero al 28 de febrero 777 318 5335 Devolución * El día de la recolección se confirma la cita

RIO MAYO 304# COL. VISTA HERMOSA CUERNAVACA MORELOS TELEFONO : 3185335 HORARIO : 9AM A 8PM