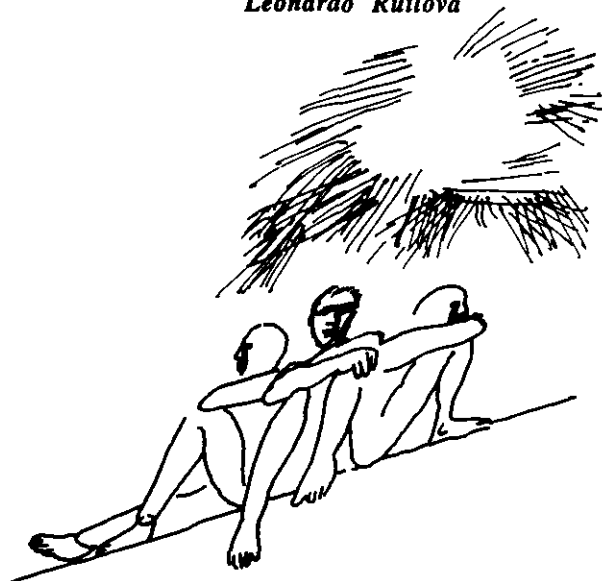


el Ozono

Leonardo Ruilova



Hace menos de tres meses, uno de los más importantes periódicos de los Estados Unidos informaba, en noticia de primera plana, sobre la decisión adoptada por la conocida empresa multinacional Du Pont de proceder a una transición ordenada, que conduzca hacia la eliminación total de uno de los compuestos químicos más perjudiciales para la capa protectora de ozono que cubre nuestro planeta ⁽¹⁾.

La referida noticia de prensa fue seguida de otras similares, publicadas en distintas fechas por los más importantes rotativos de los Estados Unidos. Todas ellas coincidían en relieves la importancia de la

decisión tomada por la compañía Du Pont y en reiterar las continuas advertencias que se han formulado en torno a los incommensurables riesgos que representa para la humanidad la disminución de los niveles de ozono.

En vista de que el autor de este artículo disponía únicamente de conocimientos rudimentarios sobre este problema, y dado que, a nivel de los países del tercer mundo, poca o ninguna importancia se atribuye al estudio de ciertos asuntos que lucen y suenan "esotéricos", como es el caso del ozono, se propuso realizar una exhaustiva investigación sobre este tema, que ahora lo presenta a

consideración de los lectores de la revista de la AFESE.

Empezaré manifestando que las sustancias químicas a las que tangencialmente me referí en el párrafo introductorio de este artículo, y que motivaron el reciente anuncio de la compañía Du Pont, son generalmente conocidas con el nombre de clorofluorocarbonos.

La alarma mundial en torno a los efectos nocivos de los clorofluorocarbonos en la capa protectora de ozono cobra inusitada actualidad a fines de la década pasada y, especialmente, a principios de la década de los años ochenta, época en la cual, y a través de mediciones especiales, se comprueban disminuciones significativas de los niveles de ozono en algunas regiones densamente pobladas del Hemisferio Sur, de Europa y de los Estados Unidos ⁽²⁾.

Sin embargo, la preocupación internacional en torno a este peligroso fenómeno de reducción del ozono se remonta a principios de la década de los setenta, en la que ya se formulan serias advertencias por los peligros potenciales que representan, dentro del proceso de aceleración de la ruptura del ozono, las sustancias químicas vertidas en la atmósfera superior por los tubos de escape de los aviones a reacción que vuelan a través de la estratósfera ⁽³⁾.

De otra parte, a principios de 1974, de manera tentativa se adelantó la tesis, que posteriormente se comprobaría verídica, de que los denominados "esprays", de uso universal y aplicación múltiple, también constituían un significativo porcentaje de las fuentes más importantes de emisión de los clorofluorocarbonos que afectaban directamente a la capa de ozono.

En el mismo año de 1974, un científico de la Universidad de California publicó un extenso y pionero estudio sobre los alarmantes riesgos que representa para el futuro mismo de la biósfera la producción y emi-

sión no controlada de los clorofluorocarbonos ⁽⁴⁾.

El referido estudio fue presentado a la Sociedad Química de los Estados Unidos, la que se pronunció en favor de la búsqueda acelerada de sustitutos de los clorofluorocarbonos, por parte de los productores de los mismos, entre los que obviamente destaca la compañía Du Pont.

Dos años después, en 1976, la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos publicó igualmente un estudio sobre los clorofluorocarbonos, a través del cual no solamente se apoyaban las tesis y advertencias formuladas dos años atrás por el científico de la Universidad de California antes mencionado, sino que también se recomendaba la aplicación de políticas concretas que conduzcan a la progresiva disminución de la producción y de las emisiones de los clorofluorocarbonos, como la única alternativa para salvaguardar la capa de ozono.

Como consecuencia del pronunciamiento de la Academia Nacional de Ciencias arriba citado, en el mismo año de 1976, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency) dispuso la prohibición total —efectiva a partir de 1978— del uso de los clorofluorocarbonos en los "esprays" o aerosoles; dicha prohibición fue seguida por una nueva recomendación que formulara esa misma Agencia norteamericana en 1980, tendiente a lograr un congelamiento de la producción estadounidense de esos compuestos químicos.

Si bien es cierto que el problema de los clorofluorocarbonos y sus efectos negativos frente a la capa de ozono, se hallaba aún limitado al ámbito interno de los Estados Unidos y de otros pocos países industrializados que también producen dichos compuestos químicos, el año de 1980 puede considerarse como el punto de partida de la internacionalización de esta problemática.

En efecto, durante el transcurso de ese año tienen lugar varias reuniones internacionales en las que se discuten los inminentes peligros que representa para toda la humanidad la progresiva disminución de la cantidad total de ozono atmosférico.

De esas reuniones merece citarse el llamado Congreso Cuatrienal, organizado por la Comisión Internacional del Ozono, que tuvo lugar en la ciudad de Boulder, Colorado. En dicho evento se presentaron decenas de estudios en torno a los letales efectos de los clorofluorocarbonos sobre el ozono, así como infinidad de propuestas destinadas a salvaguardar el destino de nuestra atmósfera de las funestas repercusiones que conlleva la acción humana sobre ella.

Una de las más importantes como dramáticas conclusiones alcanzadas en el antes referido Congreso dice relación con la advertencia que se formula en el sentido de que si el mundo "civilizado" continúa arrojando hacia la atmósfera ciertos productos químicos, como los clorofluorocarbonos, es de preverse que dentro de las próximas décadas la capa de ozono se habrá reducido entre un diez y quince por ciento, con todas las consecuencias que este hecho acarreará para la biósfera.

Luego del Congreso de Boulder, la comunidad internacional empieza a tomar limitada conciencia de una problemática que compete por igual tanto a los países desarrollados —en los que se concentra el mayor porcentaje de la producción de los clorofluorocarbonos— como a los países en vías de desarrollo, que también serían víctimas de los apocalípticos efectos que implica la reducción de los niveles de ozono ⁽⁵⁾.

El principio de lo que se espera sea el fin de esta plaga ocasionada por la propia civilización, tuvo lugar en el año de 1985, fecha en la cual, ante el peso de las evidencias acumuladas en los años anteriores y las presiones de organismos nacionales e inter-

nacionales interesados en la preservación ambiental, el Director Ejecutivo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) convocó a una Conferencia Internacional que se encargaría exclusivamente de abordar el tema de la protección de la capa de ozono.

Dicha Conferencia se reunió en la ciudad de Viena, entre el 18 y 22 de marzo de 1985. A pesar de que se extendieron invitaciones a todos los Estados de la comunidad internacional, solamente treinta y seis países acreditaron delegaciones oficiales y siete países asistieron en calidad de observadores⁽⁶⁾. Estuvieron representados igualmente varios órganos de las Naciones Unidas, organismos especializados, organizaciones gubernamentales, intergubernamentales y privadas.

Merece destacarse la presencia en esta Conferencia de la mayor parte de países desarrollados, en los que se concentra la producción de los clorofluorocarbonos, considerados como los compuestos químicos que más afectan la capa de ozono. Así, asistieron delegaciones de Estados Unidos, Alemania (República Federal), Japón, Canadá, Francia, Inglaterra, la Unión Soviética, Italia, la mayor parte de otros países europeos y un número reducido de delegaciones tercermundistas.

Al término de la referida Conferencia, esto es el 22 de marzo de 1985, se aprobó el texto del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, que quedó abierto para su firma en la capital austriaca del 22 de marzo al 21 de septiembre de 1985, y en la sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, desde el 22 de septiembre de 1985 hasta el 21 de marzo de 1986. (De acuerdo con el artículo 14 del mencionado Convenio, éste puede ser objeto de adhesión por parte de los Estados que no lo hayan suscrito en las fechas establecidas para su firma).

Adicionalmente, debe mencionarse que durante la Conferencia de Viena, se aprobaron también varias resoluciones, entre las que merece destacarse aquella que dice relación con la necesidad de que las partes contratantes del Convenio de Viena sobre la capa de ozono, inicien cuanto antes las negociaciones que conduzcan a la suscripción de un Protocolo relativo a los clorofluorocarbonos, y cuyo objetivo fundamental consistiría en reglamentar la producción, las emisiones y la utilización a escala mundial de esas sustancias, a las que la Conferencia de Viena también atribuyó efectos altamente nocivos para la capa de ozono.

Conforme la comunidad internacional ha ido tomando conciencia de los efectos implícitos en la reducción del ozono, se han ido también desarrollando sofisticados mecanismos de medición de los niveles de ozono, lo cual ha permitido añadir aún más dramatismo respecto de un problema que, de no ser prontamente controlado, representaría para la humanidad peligros cuyas consecuencias se las equipara únicamente con aquellas provenientes de una guerra nuclear⁽⁷⁾.

De acuerdo con mediciones realizadas en la Antártida, para fines de 1985 —el mismo año de la Conferencia de Viena—, las concentraciones de ozono habían experimentado alarmantes niveles de disminución; mientras que el año siguiente —1986— se detectaron altos niveles de cloro en las mismas capas estratosféricas de la Antártida.

"Incentivada" nuevamente la comunidad internacional por el peso de las evidencias puestas de manifiesto respecto de los alcances de esta problemática, y de conformidad con el mandato establecido en una de las resoluciones adicionales que se adoptaron en la Conferencia de Viena —a la que ya me referí someramente en uno de los párrafos precedentes—, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente convocó a

una nueva reunión internacional con el propósito de suscribir el Protocolo sobre los clorofluorocarbonos que se previó en la reunión de Viena de 1985.

En efecto, a mediados del mes de septiembre de 1987, en la ciudad de Montreal, Canadá, tuvo lugar un nuevo evento internacional que contó con la presencia de delegaciones oficiales de 31 países⁽⁸⁾, la mayor parte pertenecientes al mundo desarrollado, y que culminó con la firma del Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono, el mismo que quedó abierto para su suscripción hasta el 15 de septiembre de 1988, en la sede de Naciones Unidas, en New York⁽⁹⁾.

Entre los elementos más importantes de dicho Protocolo, merece destacarse aquel que establece la inaplazable necesidad de que, para 1997, se alcance una reducción de al menos un 50 por ciento en la producción y utilización mundial de los clorofluorocarbonos.

Es pues dentro de este contexto que el lector de este artículo entenderá la trascendencia del anuncio formulado por la compañía Du Pont de proceder a la eliminación progresiva de la producción de los clorofluorocarbonos⁽¹⁰⁾.

Sin embargo, de acuerdo con las más recientes informaciones proporcionadas sobre este asunto, la "oportunidad" e importancia del Protocolo de Montreal se ha visto opacada por los dramáticos resultados que arrojaron las mediciones que tuvieron lugar en el mes de marzo de 1988, y por la cuales se evidencian adicionales reducciones del ozono en todo el mundo, lo que tomaría insuficientes los mecanismos de control y los procesos de reducción porcentual de la producción de clorofluorocarbonos establecidos en la Conferencia de Viena de 1985 y, especialmente, en el Protocolo de Montreal de 1987.

Es decir, sobre la base de los millones de toneladas de clorofluorocarbonos que han sido liberados a la estratósfera durante los últimos años, sumadas a otras cuantas millones de toneladas que también serán liberadas en el futuro inmediato, y fundamentado en las evidencias acumuladas para la preparación de este artículo, se puede afirmar categóricamente que la comunidad internacional en su conjunto, incluyendo obviamente a la mayoría de países que se automarginan de los eventos en los que se discute este tema, tendrá que urgentemente negociar un nuevo instrumento internacional que contemple disposiciones más radicales en cuanto dice relación con los límites de producción de los clorofluorocarbonos, con los porcentajes de reducción de la utilización de los mismos y con la disminución de las emisiones de estas letales sustancias.

No es el afán del autor de este artículo el sonar melodramático respecto de las dantescas consecuencias que tendría para el mundo la evolución no controlada de una problemática aún no bien comprendida y en torno a la cual voy a proporcionar mayores elementos de juicio, particularmente respecto de dos conceptos que han sido constantemente repetidos hasta lo que va de este estudio: el ozono y los clorofluorocarbonos.

De acuerdo con el capítulo de las definiciones del artículo 1 de la Conferencia de Viena de 1985, "por 'capa de ozono' se entiende la capa de ozono atmosférico por encima de la capa limítrofe del planeta".

Dado que esta definición adolece, en mi opinión, del defecto de no contribuir en nada a tener una idea clara de lo que es y constituye el ozono, incluyo a continuación las partes más importantes del material que he podido recoger sobre la denominada ozonósfera⁽¹¹⁾.

El ozono es una variedad de oxígeno triatómico (O₃) constituido por la combina-

ción del oxígeno de un solo átomo con moléculas ordinarias del oxígeno de dos átomos.

A bajas altitudes, el ozono es una sustancia inestable, altamente contaminante, sin embargo, a nivel de la estratósfera, esta sustancia se constituye en una especie de velo protector que recubre a todo el planeta y que actúa como un filtro natural de la radiación solar ultravioleta.

La ozonósfera alcanza su nivel más elevado a los 24 kilómetros de altura, siendo más baja en los polos y más elevada en el ecuador. Igualmente, la ozonósfera es más rica en ozono a nivel de los polos y más pobre en el ecuador, en la que el efecto de los rayos ultravioletas es mucho más elevado y notorio.

Dado el alto grado de inestabilidad del ozono, éste no se acumula en grandes cantidades, situación que se ve adicionalmente complicada por el hecho de que la molécula de tres átomos de oxígeno —que es el ozono— puede fácilmente desintegrarse en la forma mucho más estable de dos átomos, a través de la acción de los rayos solares.

Es decir, por lo anterior se entiende claramente que no existe un proceso de regeneración de la ozonósfera que sea equivalente a los niveles de degeneración y destrucción de la que es objeto dicha capa protectora, tanto por causas naturales —como los efectos de la radiación solar— cuanto por causas artificiales provenientes de la acción que ejerce la humanidad en contra de la ozonósfera, especialmente por la liberación de los clorofluorocarbonos y de otros compuestos químicos⁽¹²⁾.

En este punto cabe una necesaria aclaración: los rayos ultravioletas al reaccionar con el oxígeno (O₂) determinan la liberación de moléculas del oxígeno atómico (O), las cuales al volver a reaccionar con las moléculas ordinarias del oxígeno de dos átomos (O₂) producen el ozono. En cambio, cuando

los rayos ultravioletas reaccionan con los clorofluorocarbonos se produce una liberación de moléculas de cloro, las cuales al reaccionar con el ozono lo destruyen, produciendo óxidos de cloro y oxígeno molecular, contribuyendo de esta manera a la disminución de los niveles de ozono estratosférico⁽¹³⁾.

Es decir, como se puede fácilmente apreciar, la radiación solar ultravioleta coadyuva tanto a la regeneración de la ozonósfera como a la degeneración de la misma, dependiendo obviamente de la naturaleza y composición de las sustancias químicas con las que interacciona la radiación ultravioleta; en este caso, el oxígeno o los clorofluorocarbonos⁽¹⁴⁾.

De lo anterior se deduce inequívocamente que cualquier modificación significativa de la capa de ozono implicará igualmente una variación de las cantidades de radiación solar ultravioleta que llegan a la superficie de la tierra, fenómeno que irremediablemente conlleva consecuencias contra la supervivencia misma de la biósfera.

El ozono actúa como un escudo natural que protege al planeta de los rayos ultravioletas más nocivos; en efecto, la ozonósfera absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta "dura" que llega a la tierra. De ahí las continuas advertencias que últimamente se han venido formulando sobre los peligros que entraña para la humanidad el mantenimiento y ulterior desarrollo de tecnologías que si bien pueden servir circunstancialmente para un "loable" propósito, a mediano y largo plazo dichos "avances" científicos están contribuyendo a acelerar la ruptura del ozono en la atmósfera superior y al ulterior debilitamiento de la protección que ésta nos ofrece para el equilibrio de nuestros ecosistemas⁽¹⁵⁾.

A pesar de que más adelante se abordará el tema de las repercusiones que tiene para la biósfera cualquier disminución de los

niveles de la capa de ozono, considero suficiente mencionar que una reducción del cinco por ciento del escudo de ozono implicaría incrementos correspondientes de la incidencia y concentración de la radiación ultravioleta en la superficie terrestre, lo cual —se estima— conllevaría al aumento desproporcionado del cáncer de la piel en todo el mundo⁽¹⁶⁾ y a efectos mutágenos sobre la especie humana, los microorganismos del suelo y de los océanos, así como sustancias y materiales indispensables para el hombre y la civilización⁽¹⁷⁾.

Con todos estos antecedentes, ahora sí considero procedente iniciar la explicación que anticipara respecto de los clorofluorocarbonos.

Los clorofluorocarbonos, a los que ahora en adelante me referiré con las siglas arbitrarias pero comúnmente usadas de CFC's, fueron inventados en 1928 por un químico norteamericano que trabajaba en la división de refrigeración de la General Motors.

El desarrollo de este compuesto es el resultante de la combinación de un hidrocarburo altamente inflamable con moléculas de dos gases tóxicos, el cloro y el flúor.

A pesar de la naturaleza tóxica e inflamable de las sustancias combinadas, el producto final, que es utilizado en forma líquida o gaseosa, resultó constituir un compuesto estable, no tóxico, no inflamable, no corrosivo y, especialmente, de fabricación barata⁽¹⁸⁾.

A diferencia de otros compuestos químicos, los CFC's no se descomponen a nivel de la baja atmósfera, manteniendo, por tanto, las características "nobles" antes descritas; empero, cuando los CFC's suben a la estratósfera, entre una altura aproximada de 25 y 45 kilómetros sobre la superficie terrestre, éstos se descomponen por acción de la radiación ultravioleta y actúan directa y negativamente sobre la capa de ozono, de

acuerdo con el proceso químico que fuera explicado anteriormente en el capítulo dedicado a la ozonósfera.

En 1930, la General Motors suscribió con la Empresa Du Pont un contrato para la producción industrial de los CFC's, bajo el nombre comercial de Freón. Al año siguiente, la compañía Du Pont empieza la producción comercial de los CFC's, especialmente la variedad de CFC-11 y CFC-12, que son los compuestos más comúnmente utilizados en los procesos de refrigeración y en las unidades móviles de aire acondicionado.

Los CFC's al ser sometidos a bajas presiones, pueden fácilmente cambiar del estado líquido al estado gaseoso; de ahí que cuando se inyecta CFC's en los circuitos de baja presión de las refrigeradoras, estos compuestos químicos se vaporizan inmediatamente, absorbiendo calor y manteniéndolo, a la vez, una temperatura bastante baja, lo cual permite el proceso general de refrigeración dentro de las unidades dedicadas para este objetivo. Proceso similar tiene lugar en los sistemas de aire acondicionado.

Es decir, para tener una idea más clara de la magnitud del uso que ha dado la humanidad a los CFC's dentro de los diferentes campos de la refrigeración, congelación y acondicionamiento de aire, basta manifestar que solamente el año pasado se fabricaron en los Estados Unidos 8.2 millones de unidades de refrigeración y congelación; debiéndose añadir igualmente que, a nivel de aire acondicionado en unidades móviles de transporte (automóviles, camiones, etc.), el 85 por ciento de todos los modelos de automotores fabricados dentro de los Estados Unidos disponen de sus respectivos sistemas de acondicionamiento de aire.

En este punto debe destacarse un hecho: hasta la presente fecha no se ha producido otro compuesto que sustituya a los CFC's en todo lo que dice relación con los

procesos de refrigeración, congelación y acondicionamiento de aire. Por tanto, si las cifras antes citadas corresponden a un solo país —los Estados Unidos—, la magnitud del uso de los CFC's adquiere connotaciones cuasi infinitas si se toma en cuenta que decenas de países a nivel mundial también fabrican refrigeradoras, congeladoras y sistemas de aire acondicionado que igualmente requieren del imprescindible uso de los CFC's.

Si lo anterior no fuera suficiente para justificar la alarma mundial en torno a los millones de toneladas de CFC's que se liberan anualmente hacia la atmósfera, se podría añadir que los CFC's tienen también otros usos bastante generalizados. Así, dichas sustancias son utilizadas dentro de los sistemas de aire acondicionado de unidades no móviles (centros comerciales, edificios, casas, fábricas, etc.)⁽¹⁹⁾; dentro del proceso de purificación y "lavado" de los circuitos y microsistemas de computación; dentro de los procesos de inyección industrial destinados a alterar superficies planas de plástico y espumaflex, campo éste que cubre una amplísima gama de aplicaciones industriales y productos "indispensables" para nuestra sociedad de consumo; y, finalmente, los CFC's son universalmente utilizados como eficaz fuente de presión en millones y millones de atomizadores o "esprays" contentivos de perfumes, desodorantes, desinfectantes, ambientadores de aire, aerosoles para el cabello, etc. etc.⁽²⁰⁾.

Debo reiterar que en todos los procesos industriales antes indicados, no se ha podido aún prescindir del uso de los CFC's, o al menos utilizar una sustancia menos nociva que los reemplace. Es decir, mientras la ciencia no invente un nuevo compuesto sustitutivo, la humanidad seguirá atada a una de las "maravillas científicas de los últimos cincuenta años" —que es como se caracterizó a los CFC's antes de conocerse sus efectos sobre el ozono—⁽²¹⁾.

La situación se complica aún más si se considera que, conforme aumenta la preocupación mundial en torno a los CFC's, la especie humana no solamente que no puede prescindir de ellos, sino que también se demuestra impotente para contrarrestar los enormes niveles de emisiones de estas sustancias que diariamente tienen lugar en todos los confines de la tierra.

La Conferencia de Viena y el Protocolo de Montreal, a los que me referí anteriormente, si bien es cierto representan una loable intención frente a una problemática que compete a toda la humanidad, no es menos cierto que constituyen una tibia respuesta ante un peligro que demanda de soluciones más radicales y de posturas de mayor compromiso por parte de toda la comunidad internacional, y más especialmente del mundo industrializado⁽²²⁾.

Las consideraciones de rédito económico, que orientan la acción de los grandes conglomerados industriales del mundo, lamentablemente constituirían uno de los principales obstáculos que impide la concertación de políticas y programas más dinámicos que conduzcan a acelerar la eliminación progresiva pero irreversible de la utilización de los CFC's.

En efecto, de acuerdo con los datos más recientes respecto a los montos de producción mundial de los CFC's y de las ganancias que éstos generan, tenemos que anualmente se produce una cantidad aproximada de 2.1 billones de libras de CFC's en todo el mundo, que generarían ingresos brutos anuales equivalentes a 2.7 billones de dólares, de los cuales un treinta por ciento corresponden a la industria química norteamericana, en la que la compañía Du Pont ejerce un indiscutible liderazgo con ventas anuales de 600 millones de dólares en CFC's y con una cuarta parte de la producción mundial de los mismos⁽²³⁾.

Además, y solamente con respecto a

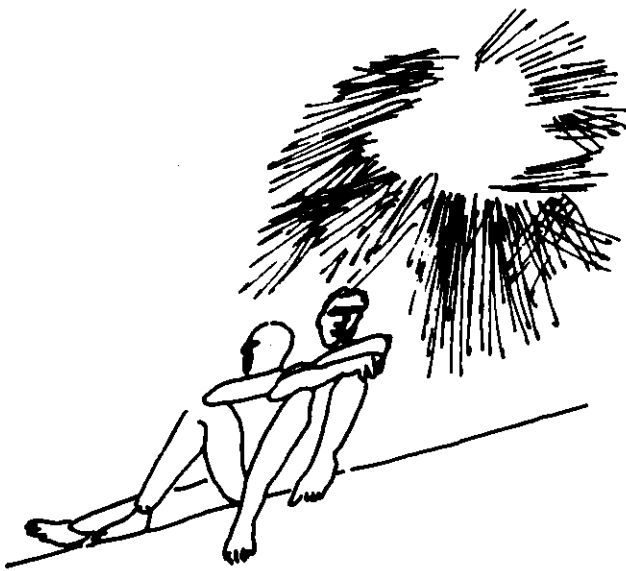
los Estados Unidos, la importancia económica de los CFC's se ve aumentada *ad infinitum* si consideramos que la infraestructura industrial actualmente en existencia en dicho país, dependiente de la utilización de los CFC's, tiene un valor real de 135 billones de dólares en equipo y maquinaria instalada, cifra en la que se incluyen más de 100 millones de refrigeradoras y más de 90 millones de automotores con aire acondicionado, en los que los CFC's constituyen un elemento imprescindible⁽²⁴⁾.

Estas consideraciones alcanzan proporciones inimaginables si se toma en cuenta que ellas son igualmente aplicables al resto de países del mundo industrializado que fabrican el setenta por ciento restante de la producción total de CFC's, con usos y aplicaciones similares.

Es decir, por lo anteriormente expuesto, es comprensible —aunque no necesariamente justificable— el por qué de la imposibilidad de proceder a una eliminación total e inmediata de la producción y uso de los CFC's.

Para terminar, considero necesario consignar a continuación algunas ideas sobre las consecuencias que tendría para la biósfera la acción permanente y progresiva de los CFC's en la capa de ozono.

Al referirme a la ozonósfera mencioné el proceso que tiene lugar en la estratósfera como resultado de la interacción entre la radiación solar ultravioleta y los CFC's que se han ido depositando en esa capa atmosférica. Como se dijo, la citada reacción motiva la disminución de los niveles de ozono; lo cual, a su vez, origina el incremento, en la superficie de la tierra, del flujo de rayos ultravioletas normalmente filtrados por el ozono. Es este aumento de la radiación ultravioleta el que viene motivando la justa inquietud de los reducidos sectores de opinión internacional que actualmente se preocupan de esta problemática.



En efecto, la mayor incidencia de la radiación ultravioleta a nivel de la superficie de la tierra acarreará profundas consecuencias para la especie humana y el medio ambiente que la rodea. Se ha demostrado que la máxima sensibilidad de los seres vivos a la radiación ultravioleta corresponde precisamente a la zona del espectro absorbida por el ozono; estimándose que conforme aumenta la exposición del ser humano a los rayos ultravioletas —en razón de la disminución de la capa de ozono—, se incrementarán considerablemente los casos de enfermedades de la piel en todo el mundo, siendo aún más grave el hecho de que por cada unidad porcentual de disminución de ozono, se produciría un aumento de entre el 5 y 7 por ciento del total de casos de cáncer de la piel que se registran anualmente en el mundo.

Para completar este panorama nada promisorio, basta manifestar que, según últimos cálculos realizados, de mantenerse el ritmo actual de producción de CFC's se prevé que la capa de ozono experimentará una disminución aproximada del quince por ciento durante los próximos cincuenta años.

Entre otras de las consecuencias para la especie humana, se menciona también la agudización y proliferación mundial de los

casos de ceguera y cataratas motivados igualmente por el aumento de la acción solar ultravioleta a nivel de la superficie terrestre.

En cuanto dice relación con los efectos que tendría para el medio ambiente la ruptura del ozono y el consiguiente incremento de la radiación solar ultravioleta, las consecuencias que se prevén más parecerían pertenecer al mundo de la ciencia ficción, pues, entre otras cosas, se afirma que si la ozonósfera llegara a desaparecer por completo, el proceso de producción de oxígeno se detendría y el planeta tierra, por tanto, sería inhabitable⁽²⁵⁾.

A continuación cito de manera resumida las repercusiones "más relevantes" que se darían a nivel de la biósfera como resultado de la modificación del balance radiactivo de la atmósfera: destrucción o alteración genética de algunos microorganismos; inhibición del proceso de fotosíntesis, con consecuencias sobre la cadena alimenticia y el equilibrio del oxígeno atmosférico; cambios climáticos en la superficie terrestre y de los océanos, lo cual alteraría los regímenes de precipitaciones, con efectos sobre los cultivos agrícolas, bosques y otros ecosistemas terrestres; etc., etc.⁽²⁶⁾.

La sola enumeración contenida en el párrafo anterior y la visualización *in extenso* de las consecuencias que ello tendría para todas las especies vivientes y el medio que las rodea es suficiente como para cerrar este capítulo.

En los primeros párrafos de este estudio empecé reconociendo mi ignorancia sobre el tema que ahora he discurredo. Una noticia de prensa publicada por un periódico norteamericano sobre el ozono incentivó mi curiosidad sobre este problema. Mis conocimientos sobre la ozonósfera y los clorofluorocarbonos no iban más allá de los que el común de los mortales posee sobre los quasares o las novas. Estimo, empero, que la limitada investigación que he realizado sobre este asunto ha contribuido para tomar conciencia de la magnitud de una problemática que tiene que ser a tiempo controlada. Para ello obviamente se requiere del concurso y compromiso de toda la comunidad internacional, la que deberá acordar nuevos instrumentos de carácter obligatorio que conduzcan, básicamente, a la eliminación progresiva de la producción de los CFS's; a la urgente búsqueda de una sustancia sustitutiva que reúna las mismas cualidades que los CFC's tiene a nivel de la baja atmósfera⁽²⁷⁾; y a la adopción de adecuados mecanismos de control a fin de limitar el monto de emisiones de los CFC's.

Si bien es cierto que es el mundo desarrollado el que concentra la producción de los CFC's, los países del tercer mundo deben asumir acciones de mayor militancia en los foros internacionales donde se seguirá discutiendo este asunto. Resulta incomprendible que un tema de tanta actualidad y de tan graves consecuencias para la civilización haya concitado la atención de no más de cuarenta Estados —casi todos ellos pertenecientes al grupo de los industrializados— en las dos conferencias internacionales que se han reunido para discutir esta problemática. Es lógico que mientras ma-

yor sea la presencia y el compromiso que adopten los países en desarrollo, mayor será la presión que se ejerza a fin de alcanzar soluciones más efectivas en torno a este asunto.

En esta parte cabe recordar el principio universal de que, si bien es cierto que los Estados tienen el derecho soberano de explotar sus recursos naturales, también es cierto que todos los Estados tienen igualmente la obligación ineludible de garantizar que las actividades que se lleven a cabo bajo su jurisdicción no perjudiquen el medio ambiente de los otros Estados o de las zonas situadas fuera de toda jurisdicción nacional.

Las Naciones Unidas a través de su programa para la protección del medio ambiente (PNUMA), ha lanzado una campaña internacional de concientización de esta problemática y se ha dirigido a todos sus Estados miembros a efectos de lograr que la mayor parte de países se adhieran al Convenio de Viena para la Protección de la Ozonósfera y suscriban el Protocolo de Montreal relativo a los clorofluorocarbonos y otras sustancias agotadoras de la capa de ozono⁽²⁸⁾.

Estos dos instrumentos, sumados a los ulteriores que necesariamente tendrán que negociarse en el futuro inmediato, constituyen el único camino del que dispone actualmente la comunidad internacional para hacer frente a los peligros que plantean los ya tristemente célebres clorofluorocarbonos: una de las "maravillas" de la humanidad convertida en el dogal de la misma.

Quito, Junio de 1988

NOTAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Véase THE WASHINGTON POST, Marzo 25, 1988, pp. A1 y A14.
- (2) De acuerdo con uno de los más recientes estudios que fuera publicado a mediados de marzo de 1988, en algunas partes del planeta se han registrado disminuciones de la capa de ozono que fluctúan entre el tres y cinco por ciento durante las dos últimas décadas.
- (3) Este fue uno de los argumentos utilizados contra el desarrollo de los aviones supersónicos. Sin embargo, las inquietudes que se crearon al respecto fueron disipadas en 1977, año en el que se demostró que los vapores eyectados por los aviones tipo Concorde, especialmente óxidos de nitrógeno, no conducían a la destrucción sino, contrariamente, a la producción de ozono. Al respecto, ver la obra de Isaac Asimov, "Introducción a la Ciencia", [Barcelona: Ediciones Orbis, S.A., 1986, Tercera Edición, Vol. I], p. 210.
- (4) El aludido científico, Sherry Rowland, demostró que los clorofluorocarbonos, a diferencia de otros compuestos químicos, pueden permanecer intactos en la atmósfera por décadas, ubicándose gradualmente en la estratósfera y disociándose finalmente bajo la acción de la radiación ultravioleta, a través de la cual se libera cloro, que es la sustancia que destruye el ozono.
- (5) Se han elaborado diversos programas internacionales de vigilancia de la estratósfera. Así, en 1976 se firmó un acuerdo tripartito entre Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos con el propósito de compartir experiencias de investigación y observación sistemática de la capa de ozono. Existe un vasto programa de globos estratosféricos destinados a realizar mediciones de los compuestos de la atmósfera. Se creó una estación de vigilancia del ozono, única en el mundo, en el observatorio de Haute Provence. Se han instalado, en diversas regiones del planeta, sofisticados instrumentos —los espectrofotómetros Dobson— que miden por absorción de las radiaciones ultravioletas la cantidad total de ozono. Se han colocado en el espacio satélites especializados, como el Nimbus 7, que han permitido obtener las primeras cartografías de alta resolución del ozono. Véase el artículo "Las Amenazas sobre el Ozono se Confirman", revista MUNDO CIENTIFICO [LA RECHERCHE, versión en español], Vol. 1, Nº 5, 1981, p. 503.
- (6) Bulgaria, China, Ecuador, Indonesia, Tónex, Uruguay y Yugoslavia.
- (7) Esta cooperación es utilizada por el científico norteamericano Sherry Rowland ya citado anteriormente. Dado que se han realizado diversos y exhaustivos estudios sobre los efectos que tendría una conflagración nuclear para la especie humana y el medio ambiente, y en vista de que se equiparan las consecuencias de la ruptura del ozono con aquellas provenientes de una guerra atómica, se recomienda la lectura de dos ilustrativos artículos "La Guerra Nuclear, la Atmósfera y el Clima", en LA CIENCIA EN LA URSS, ediciones de marzo-abril y mayo-junio de 1985, pp. 2-13 y 3-11, respectivamente. Ver también "Liberaciones Catastróficas de Radiactividad", en INVESTIGACION Y CIENCIA [SCIENTIFIC AMERICAN, versión en español], Nº 57, junio 1981, pp. 8-16.
- (8) El Ecuador asistió también como observador a esta reunión.
- (9) El Ecuador aún no adhiere al Convenio ni ha suscrito el Protocolo de Montreal.
- (10) Al parecer, la propia compañía Du Pont se habría comprometido, en 1974, a suspender la producción de los clorofluorocarbonos en el supuesto caso que se comprobara que dichas sustancias químicas eran perjudiciales para la salud humana y/o el medio ambiente. Véase el artículo "Ban on CFC's Urged to Save Ozone Shield", THE WASHINGTON POST, marzo 25, 1988, pp. A1 y A14.
- (11) Descubierta en 1913 por el físico francés Charles Fabry.
- (12) Se estima que entre otras de las sustancias químicas de origen natural y/o antropogénico que tienen el potencial de alterar la capa de ozono, se incluyen los monóxidos de carbono, el metano, el anhídrido carbónico y otros compuestos altamente halogenados, clorados, bromados, etc., etc.
- (13) Se ha calculado que cada átomo de cloro es capaz de remover y destruir, en una complicada reacción en cadena, más de cien mil moléculas de ozono.
- (14) El flúor, si no se demuestra lo contrario, no representaría amenaza para el ozono, al no

iniciar ninguna cadena catalítica, lo cual habría sido comprobado por los diversos experimentos de laboratorio sobre sus constantes de reacción.

- (15) Sobre el permanente problema de la contaminación se recomienda la lectura del artículo "Atmósfera y Contaminación Atmosférica", en INVESTIGACION Y CIENCIA [SCIENTIFIC AMERICAN, versión en español], N° 37, octubre 1979, pp. 104-120.
- (16) Ver Isaac Asimov, op. cit., p. 210.
- (17) A más de las referencias citadas y por citarse, para mayores detalles sobre la ozonófera, se recomienda especialmente la lectura del artículo "El Ozono en la Atmósfera", en MUNDO CIENTIFICO [LA RECHERCHE, versión en español], Vol. 2, N° 13, 1981, pp. 372-382.
- (18) Con anterioridad al invento de los CPC's, los compuestos químicos utilizados en los procesos de refrigeración y aire acondicionado eran no solamente tóxicos, sino también altamente inflamables al entrar en contacto con el aire.
- (19) Los sistemas de aire acondicionado de unidades no móviles utilizan un compuesto conocido como CFC-22, que es una sustancia que contiene muy poco cloro y por tanto es considerada menos peligrosa para el ozono. Empero, todos los sistemas de aire acondicionado de unidades móviles, así como de refrigeración dependen casi exclusivamente de CFC-11 y CFC-12, que serían los más dañinos de la familia de los clorofluorocarbonos. Véase el interesante artículo "Du Pont Taking Big Risk with CFC's Phase-Out", THE WASHINGTON POST, marzo 25, 1988, p. B4.
- (20) A raíz de la prohibición que decretó la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos respecto del uso de los CFC's en atomizadores —efectiva a partir de 1978—, la utilización de esos compuestos se ha reducido a un cinco por ciento dentro de la línea de "esprays"; sin embargo, los aerosoles o atomizadores representan más del treinta por ciento del sector industrial que utiliza CPC's a nivel mundial, cifra ésta que se incrementa al cincuenta por ciento en el caso de los países europeos, en los que la industria química ejerce un alto grado de influencia. Ver "The Aerosol Factor", THE WASHINGTON POST, abril 22, 1988. Véase también la edición de este mismo periódico correspondiente a abril 13, 1988.
- (21) La compañía Du Pont se hallaría investigando un sustituto de los CPC's desde 1975. Al parecer, un compuesto nuevo llamado 134a podría ser la solución en vista de que no tiene cloro, que es la sustancia que reacciona con el ozono y lo destruye. Allied-Signal Inc., la segunda empresa productora de CPC's en los Estados Unidos, manifestó recientemente que los posibles compuestos sustitutivos serían mucho más costosos que los CPC's, lo cual obviamente contribuiría al incremento de los precios de los artículos y procesos en los que se utiliza estas sustancias. En todo caso, se estima que la industria tomará al menos unos diez años para desarrollar compuestos alternativos que reúnan las mismas cualidades "nobles" de los CPC's. Ver "Du Pont Taking Big...", op. cit., p. B1.
- (22) La misma empresa Du Pont reconoce que los recortes del cincuenta por ciento previstos en el Protocolo de Montreal no son suficientes como para detener y prevenir las significativas disminuciones que experimenta la capa de ozono. "Ban on CFC's Urged to...", op. cit. p. A1.
- (23) Debe destacarse que el gobierno norteamericano es uno de los que más acciones concretas ha adoptado frente a este problema. Así, la prohibición del uso de CPC's en aerosoles; ratificación, por parte del Senado —a principios de marzo de 1988— del Protocolo de Montreal; adicionalmente, se conoce que en el Congreso de los Estados Unidos se hallan actualmente en estudio nuevas disposiciones legales por las que el gobierno de Washington se obligaría a ir más allá de lo que prevé el Protocolo de Montreal en cuanto dice relación con la producción y emisiones de los CPC's. Ver "Ban on CFC's Urged to...", op. cit. p. 14.
- (24) Según la Du Pont, apenas el veinte por ciento de la producción total de CPC's se lo utiliza en nuevos sectores de la industria y en la fabricación de nuevos productos. El ochenta por ciento restante se lo usa exclusivamente en el equipo y maquinaria ya instalada que depende de los CPC's. "Du Pont Taking Big...", op. cit. p. B4.
- (25) Se recomienda leer el Anexo N° 1 del Convenio de Viena, titulado