

# Los clorofluorocarbonados en nuestra región

Alejandro Ruiz Estrada

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las teorías acerca del surgimiento de la vida en nuestro planeta asumen que hace 4000 millones de años, cuando la tierra se había enfriado y se habían formado los océanos, la atmósfera tenía una composición química muy diferente a la actual: estaba saturada de metano, amoníaco, bióxido de carbono, agua, etc. Por otra parte, el bombardeo energético proveniente del sol también era muy diferente, principalmente por la incidencia de radiación ultravioleta sobre

la superficie terrestre; la temperatura promedio era mucho más alta por la combinación de la actividad volcánica, la radiación solar y el efecto de invernadero de los gases presentes en la atmósfera. Se supone que estas condiciones fisicoquímicas permitieron la síntesis de una molécula de ADN que dio origen a la vida en la Tierra.

Tuvieron que transcurrir millones de años para que surgieran organismos unicelulares que en su proceso metabólico consumían bióxido de carbono y liberaban oxígeno molecular. La actividad de estos organismos, a lo largo nuevamente de millones de años, condujo a un cambio en la composición química de la atmósfera hasta parecerse a la actual, es decir, con una concentración de oxígeno molecular que en la atmósfera superior interactúa con la radiación U.V. de alta energía transformándola en energía cinética y producir ozono en un proceso que se describirá más adelante. Si no existiera esta capa

Este trabajo constituye parte del material didáctico que se pretende utilizar en un proyecto de capacitación para mecánicos de refrigeración en la Ciudad de Xalapa, con el objeto de reglamentar el uso y comercialización de refrigerantes clorofluorocarbonados y sus sustitutos y contribuir de una manera práctica a la protección de la capa de ozono estratosférica.

## CÓMO NOS PROTEGE LA CAPA DE OZONO

Aunque el ozono constituye menos de una millonésima parte de los gases en la atmósfera, es capaz de absorber la mayoría de la radiación U. V. que proviene del sol, evitando que alcance la superficie terrestre. El funcionamiento es el siguiente: una molécula de ozono (O<sub>3</sub>) se crea cuando un fotón ultravioleta colisiona

de ozono, la radiación U.V. alcanzaría la superficie terrestre y la vida no sería como la conocemos, pues no existe ningún ecosistema que incluya en su flujo de energía la radiación U.V.

Como todos sabemos, la concentración de ozono estratosférico ha disminuido a niveles alarmantes en algunas zonas del planeta, presumiblemente por efecto de grandes emisiones a la atmósfera de gases con gran potencial de agotamiento de ozono, como son los clorofluorocarbonados y otros compuestos como el bromuro de metilo (componente básico de muchos plaguicidas). Cualquier esfuerzo encaminado a revertir esta situación, desde cualquier lugar en el que participemos, se verá favorecido si tenemos una comprensión clara y sencilla de lo que está sucediendo. Ese es el objetivo de este trabajo. Empecemos por explicar cómo nos protege la capa de ozono.

con una molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>) partiéndola por la mitad y liberando dos átomos de oxígeno sumamente reactivos, que rápidamente se combinan con moléculas intactas de oxígeno para formar ozono.

Cuando el ozono es alcanzado por la radiación U.V. se disocia en sus partes componentes O<sub>2</sub> y oxígeno atómico (O) el cual se une a otra molécula de oxígeno formando una nueva molécula de ozono. Este proceso de disociación/formación continua hasta que finalmente el átomo libre colisiona con otro y forma una molécula de oxígeno. Bajo condiciones normales, el resultado neto es que el nivel de ozono permanece en un estado de equilibrio dinámico en el que su ritmo de formación es igual al de su remoción. Este proceso se describe esquemáticamente en la siguiente figura.

Este equilibrio se ha roto debido a la presencia de cloro en la estratósfera el cual destruye catalíticamente el ozo-

no. Es muy difícil que exista cloro atómico en la tropósfera y es mucho más difícil encontrarlo en la estratósfera pues el cloro es un elemento fuertemente electronegativo y por lo tanto es muy reactivo. Sin embargo, el hombre ha producido compuestos clorados sumamente estables a nivel de la tropósfera pero que eventualmente pueden llegar a las capas superiores de la atmósfera donde sus características químicas pueden cambiar radicalmente.

### LOS COMPUESTOS CLOROFUOROCARBONADOS

Estos compuestos, como su nombre lo indica, contienen átomos de cloro, flúor y carbón. Desde hace más de 60 años han sido utilizados como agentes refrigerantes, propelentes de aerosol, agentes espumantes, desengrasantes de equipo electrónico, etc. Durante muchos años fueron considerados como productos ideales de la industria química pues son muy estables, no son inflamables, no son tóxicos y además son muy baratos. El hecho de ser prácticamente inertes, con una vida molecular promedio de 75-100 años, es la razón por la cual pueden alcanzar alturas más allá de los 25 km., por encima de la máxima concentración de ozono, y ser fuertemente afectados por la radiación U.V. que es absorbida por el ozono a altitudes menores. Los fotones ultravioleta tienen la energía suficiente para romper moléculas normalmente estables como son los CFC y el ADN. En el caso de los CFC, su ruptura puede liberar átomos de cloro capaces de destruir catalíticamente grandes cantidades de ozono.

Cuando un átomo de cloro colisiona con una molécula de ozono, toma el tercer átomo y forma un radical monóxido de cloro y oxígeno molecular. Los radicales tienen un número impar de electrones y por lo tanto son sumamente reactivos. Cuando el monóxido de cloro encuentra un átomo de oxígeno libera su correspondiente átomo de oxígeno para formar oxígeno molecular y quedando reconstituido el átomo de cloro listo para seguir destruyendo ozono, a un ritmo tal que un átomo de cloro puede destruir 100,000 moléculas de ozono antes de alcanzar una reacción estable o regresar a la tropósfera. Este proceso se ilustra en la siguiente figura.

Existen reacciones químicas que

interfieren con este proceso catalítico de destrucción de ozono pero que se ven fuertemente inhibidas en las condiciones climáticas únicas que se dan en la Antártida, además hay otros compuestos que tienen un alto potencial de agotamiento de ozono como es el caso del bromuro de metilo, el cual es incluso mayor que el de los compuestos CFC. Por otra parte hay que señalar que los cambios sumamente bruscos que se han detectado en la Antártida no pueden ser explicados únicamente por las reacciones químicas del ozono y los compuestos CFC y, por lo tanto, debemos pensar en otros factores como pueden ser cambios en los modelos de movimiento de aire, capaces de alterar la concentración de ozono en ciertas zonas del planeta. Sin embargo, para el objetivo de este trabajo es suficiente con mencionar que existen estos fenómenos sin entrar en su descripción. Centremos nuestra atención en los efectos que hay y puede haber sobre la vida y los ecosistemas.

### CONSECUENCIAS SOBRE LA VIDA Y LOS ECOSISTEMAS

El ozono absorbe la mayoría de la radiación ultravioleta proveniente del sol en una longitud de onda de 290 nm a 320 nm. Estas longitudes de onda son dañinas para la vida porque pueden ser absorbidas por el ADN celular y sufrir cambios en la información genética. Aunque la radiación U.V. no es de alta penetración, es capaz de provocar cáncer en la piel y cataratas, lo que de hecho ya está sucediendo. Por otra parte, el posible efecto de la radiación U.V. sobre el plancton marino en los mares de la Antártida no se ha determinado con precisión y aparentemente no hay efectos significativos, sin embargo hay que dejar claro que esos mares juegan un rol fundamental en los procesos de producción de oxígeno y biomasa a nivel global y, por lo tanto, una alteración en los flujos de masa y energía en esos ecosistemas puede tener alcances planetarios desastrosos.

Las consecuencias climáticas del agotamiento del ozono estratosférico tampoco se han determinado con precisión, como de hecho sucede con todos los fenómenos de cambio climático a nivel global. Esta situación, en vez de darnos el beneficio de la duda, nos coloca en una posición mucho más comprome-

tedora, pues el comportamiento del clima a nivel global no ha seguido las predicciones hechas con los modelos matemáticos de los que se dispone en la actualidad, y, en consecuencia, debemos actuar con mucha mayor responsabilidad. Para darnos una idea de lo que está en juego recordemos que la estratósfera es la segunda mayor capa de aire de la atmósfera. En ella, la temperatura del aire permanece constante hasta una altitud de 25 km, después se incrementa gradualmente hasta el límite inferior de la estratopausa (aprox. 50 km). Debido a que la temperatura del aire en la estratósfera se eleva con la altitud no genera convección y tiene un efecto estabilizador en las condiciones atmosféricas. El ozono es el principal agente regulador de la temperatura de la estratósfera ya que casi no hay vapor de agua. La temperatura se incrementa con la concentración de ozono pues la energía solar es convertida a energía cinética cuando las moléculas de ozono absorben radiación U.V. resultando en un calentamiento de la estratósfera. Como podemos ver, los efectos de un cambio significativo en la composición y/o concentración de los gases atmosféricos no se pueden predecir en forma exacta. Por tal motivo, las noticias acerca de una recuperación de la capa de ozono son de un optimismo irresponsable.

### EL PROTOCOLO DE MONTREAL

La problemática mencionada es la que llevó en 1989 a la firma del Protocolo de Montreal que, entre otras cuestiones, establece un calendario para la disminución y posterior prohibición del uso de compuestos CFC. Hay que reconocer que en gran medida se han cumplido los objetivos en los tiempos establecidos por el mencionado Protocolo. Este éxito se debe en parte a lo grave de la situación que obligó a una intervención decidida por parte de los gobiernos y sociedad de los países desarrollados, y en parte a que las grandes compañías químicas salieron favorecidas como es el caso de DUPONT, que era la principal productora de refrigerantes CFC y ahora monopoliza la producción y la patente de los nuevos refrigerantes. Los nuevos refrigerantes no contienen cloro y su vida molecular es mucho más corta, por ejemplo el R-134a (1,1,1,2 tetrafluoro-

tano) que sustituye al R-12 (diclorodifluorometano), aunque en algunos países de Europa se utiliza como refrigerante propano, que obviamente tiene la desventaja de ser inflamable y explosivo, pero que utilizado correctamente constituye una alternativa ecológicamente aceptable y segura. De hecho, muchos aerosoles utilizan como propelente una mezcla de propano/butano que sin lugar a dudas es una aplicación mucho más peligrosa que como fluido refrigerante.

### LA SITUACION EN NUESTRO PAIS

El Gobierno Mexicano firmó el Protocolo de Montreal desde su inicio, accediéndose a las prerrogativas que se les otorgaban a los países en desarrollo, es decir, plazos más amplios para llevar a cabo la sustitución de los compuestos CFC. Hay que señalar que la SEMARNAP hasta el año pasado no había emitido una norma en sentido estricto para regular el proceso de sustitución de compuestos CFC. Aunque el Banco Mundial destinó una importante cantidad para financiar este proceso, los fondos obtenidos fueron administrados por DUPONT en la promoción y capacitación en el uso de sus productos. Hasta la fecha ha habido algunos avances en el proceso de sustitución de CFC: desde el año de 1992 las compañías automotrices utilizan en sus equipos de fábrica R-134a como refrigerante. La Norma Oficial Mexicana establece desde el año pasado la obligación de usar refrigerantes de nulo o bajo potencial de agotamiento de ozono estratosférico en todos los equipos de fábrica, al mismo tiempo que se establece una política de precios que encarece el uso de refrigerantes CFC.

### ¿QUE SUCEDE EN VERACRUZ?

Los datos que publica la OCDE sobre parámetros ambientales en los países miembros, establecen para México un consumo per cápita de CFC de .05 kg/año. Una investigación llevada a cabo en

1996, dio como resultado una venta mensual en la Ciudad de Xalapa de 1500 kg de CFC R-12, que multiplicada por 12 y dividida entre los 325,000 habitantes de la

**Una investigación llevada a cabo en 1996, dio como resultado una venta mensual en Xalapa de 1500 kg de CFC R-12, que multiplicada por 12 y dividida entre los 325,000 habitantes de la ciudad nos da una tasa de consumo per cápita de .055 kg/año; en el Puerto de Veracruz una sola casa vendió 6 toneladas en un mes. No es difícil tener una idea aproximada de qué cantidad de refrigerantes se consumen en nuestro estado, basta con multiplicar el consumo per cápita por el número de habitantes. Lo grave del caso es que una buena parte de ese refrigerante es utilizado en reparaciones, lo que significa que una cantidad equivalente fue previamente expulsada a la atmósfera.**

ciudad nos da una tasa de consumo per cápita de .055 kg/año; en el Puerto de Veracruz una sola casa vendió 6 toneladas en un mes. No es difícil tener una idea aproximada de qué cantidad de refrigerantes se consumen en nuestro estado, basta con multiplicar el consumo per cápita por el número de habitantes. Lo grave del caso es que una buena parte de ese refrigerante es utilizado en reparaciones, lo que significa que una cantidad equivalente fue previamente expulsada a la atmósfera. Si comparamos el consumo per cápita de refrigerantes en México (.05 kg/año) con los de EUA o Canadá (.16 kg/año) podemos pensar que somos más responsables en el manejo y consumo de refrigerantes, pero si tomamos en consideración la capacidad instalada de equipo de refrigeración per cápita y que las normas ambientales sobre uso y comercialización de refrigerantes son muy estrictas e incluyen la obligación de recuperar y reciclar refrigerantes usados, tenemos que concluir que en nuestro país se da un manejo sumamente deficiente de los compuestos refrigerantes ya sean CFC o sus sustitutos.

Esta deficiencia en principio debería poder ser subsanada si se cumplieran otras obligaciones contraídas por el Gobierno Mexicano sobre certificación de

oficio, que vendría a ser equivalente a las licencias que se expiden en EUA y sin las cuales no es posible ofrecer un servicio de reparación de refrigeración. Ahora bien, el Banco Mundial también destinó recursos a México para llevar a cabo un proceso de certificación de oficios, incluido el de técnico en refrigeración, sin embargo hasta la fecha no se ha iniciado ese proceso de certificación que correctamente diseñado e implementado podemos esperar que se refleje en un menor consumo de refrigerante y un uso más eficiente del mismo, lo que sin lugar a dudas tendría un impacto económico y ambiental positivo.

### ¿QUÉ PODEMOS HACER?

Se puede contribuir a solucionar el problema del agotamiento de la capa de ozono

en distintos ámbitos, sin embargo podemos lograr mucho si reducimos las emisiones de refrigerantes y al mismo tiempo promovemos un uso más eficiente de los equipos de refrigeración, lo cual está a nuestro alcance. Un programa de capacitación y certificación de oficio nos permitiría lograrlo y además se incidiría en otros aspectos como son un aumento en la calidad, organización social e imagen. Ahora bien, es evidente que las condiciones técnicas, económicas, culturales, la infraestructura, que prevalecen en nuestro país son muy diferentes a las que encontramos en Estados Unidos o Europa, por lo tanto no tiene sentido pretender una certificación de oficio como la que se realiza en esos países, sin embargo podemos y debemos pensar en una aportación original que contemple cuestiones como son la capacitación en prácticas de alta calidad, manejo de los nuevos refrigerantes, aspectos ambientales, ética profesional, que tenemos derecho a suponer se reflejará en un manejo responsable de compuestos que eventualmente pueden dañar gravemente nuestro ambiente.

