

Química y medio ambiente

Estela López Sardi*

El medio ambiente se deteriora día a día. Las noticias en ese sentido son claras. Pero no siempre son honestas o bien intencionadas.

¿Por qué se degrada el ecosistema terrestre? ¿Qué podemos hacer, cada uno desde su lugar, para disminuir o minimizar esa degradación? Las respuestas a estas preguntas no siempre son fáciles y no es sencillo encontrar una fuente honesta de datos.

Sin embargo, entre acusaciones cruzadas de organizaciones medio ambientalistas y los diferentes bastiones del poder político y económico es posible encontrar una fuente de información más honesta y confiable: la investigación científica responsable.

Son los científicos en sus distintas especialidades: químicos, biólogos, ingenieros, geólogos, etc, los llamados a estudiar, entender e interpretar los distintos procesos de degradación que sufre nuestro esforzado planeta, analizar las causas de los mismos y dedicarse a la búsqueda de soluciones.

Los químicos en especial debemos sentirnos llamados a interpretar estas situaciones: en nuestra ciencia se hallan las claves que desentrañan muchos de estos procesos en sus fases más íntimas, poniendo en evidencia que la química, a la que muchas veces se acusa de madre de todos estos males, es en realidad una pieza clave para entender y recuperar la salud del planeta que nos alberga.

¿Cuáles pueden ser considerados los hechos desencadenantes del gran deterioro del medio ambiente a nivel global? Minimizando todos los factores, podemos reducirnos a tres cuestiones fundamentales:

- **Aumento exponencial de la población mundial.**
- **Intereses económicos adversos a la preservación del medio ambiente.**
- **Tardía toma de conciencia por parte de los gobiernos y la población en general.**

Vamos a analizar brevemente cada uno de ellos:

1. El aumento de la población mundial lo podemos ver reflejado en las siguientes cifras:

<i>Año</i>	<i>N° de millones de habitantes</i>
1.650	50
1.970	3.600
2.005	6.500
2.005	6.500

Una de las principales justificaciones para este aumento exponencial es el aumento de la calidad de la medicina y su distribución a nivel planetario lo que incide en una disminución drástica de los índices de mortalidad.

* Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Palermo

El aumento poblacional trae aparejado el aumento del consumo de alimentos, bienes y servicios de todo tipo, aumento de requerimientos de tierras para fines agrícola ganaderos, aumento desmedido de la actividad industrial, consumo de energía y combustibles y generación de residuos.

Esto visiblemente configura una espiral exponencial que se autoalimenta en tanto y en cuanto la población sigue creciendo.

2. En cuanto a la existencia de intereses económicos inmensos, muchas veces en oposición con la calidad del medio ambiente, no exponemos ninguna novedad, pero baste con citar algunos ejemplos:
 - Tala desmedida de árboles, quema de pastizales, uso de productos fitosanitarios (pesticidas, herbicidas, etc) no permitidos. Todas estas conductas llevan a la desertificación, que es el peor grado de degradación a que puede someterse una región.
 - Países como los Estados Unidos, que no se adhieren al protocolo de Kyoto (tratado internacional para controlar distintas clases de conductas contaminantes como la generación de gases de invernadero), siendo ellos mismos los principales generadores de este tipo de sustancias.
3. Si bien desde las épocas de la Revolución Industrial, comenzó a legislarse con respecto a las políticas industriales, económicas y laborales, fue recién en 1970 cuando entró en vigencia, en USA la NACIONAL ENVIRONMENT POLICY, (NEPA), primera ley de política ambiental, emulada en 1973 en Canadá y luego, gradualmente, fueron surgiendo leyes, reglamentaciones y normas de carácter ambiental en distintas partes del mundo. Como se ve, pasaron siglos, entre el inicio de la era industrial y la legislación de estas actividades con respecto al medio ambiente.

A continuación, vamos a seguir con nuestro análisis del deterioro ambiental y su remediación, no ya desde el punto de vista general ó político, sino desde el punto de vista químico.

Dada la gran amplitud del tema, no podemos comprender en una charla, todos los procesos de contaminación que afectan a la atmósfera, al agua, al suelo y a los demás factores bióticos y abióticos del medio ambiente. Sin embargo, analizaremos los distintos tipos de reacciones químicas y sustancias que intervienen en algunos de los más conocidos fenómenos de contaminación.

Algunas definiciones y conceptos

En nuestro complejo mundo actual, podemos definir Medio Ambiente como la interrelación biogeoquímica entre sociedad, ecosistema y naturaleza.

Los distintos ecosistemas del planeta deben presentar, naturalmente, capacidad de autorregulación, es decir mantener la constancia y continuidad de sus funciones amortiguando los cambios que se producen en él. Esta capacidad ha sido sobrepasada por los cambios antrópicos derivados del tecnosistema generándose contaminación, degradación ambiental y deterioro de los elementos bióticos y abióticos.

Podemos definir la problemática ambiental como una desarticulación del medio ambiente que genera degradación y/o desaprovechamiento del ecosistema e impide el aumento de calidad de vida de los seres vivos.

La contaminación ambiental es la presencia de sustancias que cuali ó cuantitativamente causan un efecto adverso mensurable en los seres vivos o bien daños físicos en los bienes materiales.

Podemos definir contaminante como toda sustancia y/o circunstancia que cause una desviación en la composición química media del sistema bajo análisis.

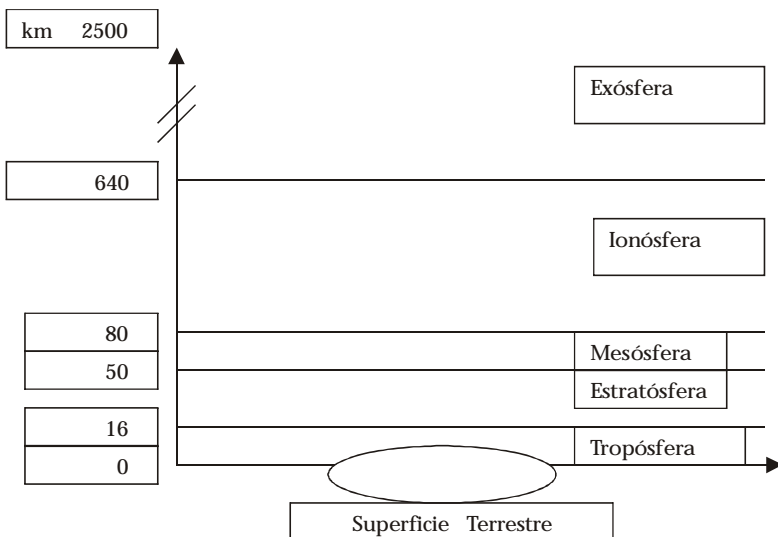
Contaminación atmosférica

Los fenómenos relacionados con la contaminación atmosférica, dado el carácter planetario de la atmósfera, suelen ser los que alcanzan mayor difusión a nivel de la información general. Mientras que la contaminación que pueden causar, por ejemplo, los efluentes no tratados de una cierta industria, sólo tienen repercusión como contaminantes del suelo y el agua a nivel local, fenómenos como el smog, la inversión térmica, la lluvia ácida, el efecto invernadero y el “agujero de ozono” hacen que todos nos sintamos involucrados.

Por eso vamos a centrar el tema de esta charla en tratar de conocer un poco mejor los hechos fisico-químicos relacionados con estos casos de contaminación atmosférica tan difundidos.

Vamos a empezar por recordar algunos detalles básicos sobre la atmósfera:

Atmósfera: zona que se extiende desde la superficie terrestre y hacia arriba, hasta una altitud de 2500 km. Su existencia es básica para que exista la vida en la tierra. Evita los contrastes de temperatura en la superficie del planeta, permite el desarrollo de la biosfera, desde la superficie y hasta 10.000 m de altura, donde se desarrolla la vida.



La troposfera contiene a la biosfera, y es donde se forman la mayor parte de las nubes. En ella la temperatura disminuye unos 5,5 °C por cada 1000 m ganados en altitud. En ella ocurren continuos movimientos, por lo que la composición del aire es la misma, aproximadamente, en toda su extensión. A 25 km de la superficie terrestre, ya en plena estratósfera, se encuentra la llamada “capa de ozono”.

La mesosfera es una capa de aire frío y 1000 veces menos denso que el aire de la superficie terrestre. En cambio la ionósfera también es llamada termósfera porque a 400 km de altitud alcanza una temperatura de 1200°C debido a la lluvia electrónica solar, que ioniza los gases, volviéndolos conductores de la electricidad.

La exosfera es el límite exterior de la atmósfera.

La atmósfera terrestre es un sistema dinámico que ronda los $5,6 \times 10^{28}$ kg de masa de aire, concentradas principalmente en los 5 km inferiores contra la superficie terrestre y ejerce una presión de 1013 hPa. (1 hPa : 100 N/ m²).

Composición actual de la atmósfera terrestre. Esta composición surge como consecuencia de modificaciones medioambientales ocurridas lentamente a lo largo de 4500 millones de años.

<i>Gas</i>	<i>% v/v</i>	<i>Gas</i>	<i>% v/v</i>
Nitrógeno	78	Metano	2×10^{-5}
Oxígeno	21	Kriptón	1×10^{-4}
Argón	0,95	Hidrógeno	5×10^{-5}
Dióxido de carbono	0,035	Óxido nítrico	3×10^{-5}
Neón	2×10^{-3}	Xenón	6×10^{-6}
Helio	5×10^{-4}	Ozono	1×10^{-6}

Además, la atmósfera contiene una cantidad variable de agua en estado de vapor, la cual, en promedio y como % v/v de la composición final de la atmósfera, representa un 0,07 %.

La inversión térmica

Como resultado de los cambios de densidad que sufre el aire con la temperatura, se generan una serie de movimientos habituales en la atmósfera, a los que se conoce con el nombre de inestabilidad atmosférica. Estos efectos son más visibles en los centros urbanos e industriales donde a causa de la arquitectura existente (asfalto, cemento que absorben radiación solar y la reemiten en forma de calor), y donde en forma simultánea se genera calor por medio de la actividad urbana (motores de combustión interna) e industrial (hornos, maquinarias). Por lo tanto durante el día el aire en contacto con la superficie terrestre se calienta, disminuye su densidad y se eleva y dispersa en las capas superiores de la atmósfera. Dicha masa de aire eleva consigo los contaminantes generados por las actividades antes mencionadas y los diluye en las capas superiores de la atmósfera.

Durante la noche el aire en contacto con la superficie terrestre suele estar más frío y por lo tanto es más denso, no se eleva, decimos que se ha producido una inversión térmica. Si durante el tiempo que dura la inversión térmica continúa la generación de contaminantes en la región, estos se concentran en la capa más baja de la atmósfera, quedando atrapados entre el inicio y cese de la emisión.

Este fenómeno físico de “retención” de los contaminantes en las capas bajas de la atmósfera se ve agravado, según las condiciones de humedad y temperatura imperantes, generándose la formación de una niebla tóxica con el vapor de agua y contaminantes tanto gaseosos como sólidos en suspensión. Esta niebla recibe el nombre de smog y se lo divide en dos tipos distintos.

SMOG Clásico

Efecto combinado del estancamiento de la masa de aire con una fuerte emisión de contaminantes (emisiones de motores diesel y/o a nafta, calefacción doméstica y actividad industrial). Cuando bajo determinadas condiciones meteorológicas se observa una baja velocidad ascendente u horizontal del aire, prolongada durante varias horas y combinada con una humedad relativa mayor del 60% se forma el llamado Smog clásico, mezcla tóxica de hollín (partículas grasas carbonosas de color negro), humo (compuesto principalmente por CO, CO₂, SO₂, NO_x), material particulado, y niebla (aerosol líquido que disminuye la visibilidad).

Los efectos del SMOG clásico sobre la salud comprenden catarro e irritación de las mucosas de las vías aéreas superiores e irritación de la piel por exposición a la niebla ácida (SO₂ y NO_x disueltos en el vapor de agua).

SMOG fotoquímico

Esto ocurre cuando los contaminantes atmosféricos forman una mezcla gaseosa capaz de sufrir reacciones fotoquímicas en presencia de la luz solar (principalmente UV) generándose peligrosos contaminantes secundarios a partir de los contaminantes “clásicos”. Entre ellos se encuentran el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y los compuestos conocidos como PAN (nitratos de peroxiacilo). Cuando los PAN forman parte de la niebla, se asocian a las partículas usualmente presentes, dándole un aspecto brumoso amarillento característico.

En la niebla también puede darse la reacción $SO_2 + \text{niebla} \rightarrow (NH_4)_2SO_4$ formándose partículas de diámetros mayores a 10 micrones que afectan las fosas nasales.

Partículas intermedias (5 micrones) como las del SO₂ afectan la mucosas de las vías superiores, boca, fosas nasales, rinofaringe y tráquea.

Partículas finas (menos de 3 micrones) como el ozono y el NO₂ son captadas por los macrófagos en los alvéolos pulmonares provocando un medio propicio a las sobreinfecciones.

La lluvia ácida

La lluvia es una de las partes del ciclo del agua : se evapora agua de la superficie terrestre formando nubes de vapor, que al entrar en contacto con una corriente de aire frío condensa formando gotitas que aumentan de tamaño hasta que caen (precipitan). Es una experiencia natural que puede asimilarse a la operación de destilar agua en el laboratorio. Pero mientras que el agua destilada tiene pH : 7, el agua de lluvia normalmente tiene un pH de 5,6 debido a la presencia de CO_2 disuelto

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$$

Se llama lluvia ácida aquella → cuyo pH es menor de 5,6 y esto puede ocurrir por distintos mecanismos de deposición húmeda de compuestos contaminantes presentes en la atmósfera y que generan la formación de ácidos en presencia de agua.

Mecanismos de deposición húmeda:

- Agregación: incorporación de sustancias a las gotitas y cristales de las nubes.
- Derrubio: barrido del material que se encuentra bajo las nubes durante la precipitación de lluvia ó nieve.

Los compuestos que determinan la lluvia ácida pueden ser SO_2 y NO_x , ya sean de origen natural ó antropogénico, los cuales forman, en disolución acuosa, H_2SO_4 y HNO_3 .

Vamos a analizar cuales son las causas de la presencia de dichos óxidos en la atmósfera.

SO₂ y otros compuestos azufrados.

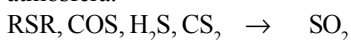
En la atmósfera es normal su presencia en cantidad de trazas, pero aún en tan bajas cantidades tienen gran impacto por la producción, a nivel local de la lluvia ácida. Los compuestos azufrados más comúnmente presentes en la atmósfera

Son SO_2 , COS (sulfuro de carbonilo), CS_2 (disulfuro de carbono), RSR (sulfuros orgánicos gaseosos), y el H_2S . Se incorporan a la atmósfera por vulcanismo (SO_2 , COS, SO_4^{2-} , H_2S), erosión eólica de rocas ricas en sulfatos, formación de RSR en la zona fótica de los océanos, degradación de biomasa (CH_3HS , COS, CS_2).

Además de estos motivos naturales, la actividad humana genera el 25 % del SO_2 presente en la atmósfera, como consecuencia de la combustión de los combustibles fósiles con alto contenido de azufre.

En la atmósfera estos compuestos participan de una serie de reacciones de cinética compleja que se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) **Oxidaciones homogéneas:** donde participan otros compuestos gaseosos de la atmósfera.



Estas transformaciones ocurren en presencia de ozono, dióxigeno o radicales como HO^\cdot , HO_2^\cdot .

- b) **Oxidaciones heterogéneas:** El SO_2 se disuelve en $\text{H}_2\text{O(L)}$ presente como gotitas en la atmósfera o se absorbe en aerosoles (por ej. hollín), formándose SO_3^{2-} y HSO_3^- que en presencia de catión Fe^{3+} , Mg^{2+} ó Ca^{2+} , que actúan como catalizadores, reaccione con el ozono ó con el dióxígeno formando SO_4^{2-} .

Mientras que en la atmósfera existe un contenido medio permanente de azufre de $2 \times 10^6 \text{t}$, existe una cantidad de S “de paso” por la atmósfera hasta su deposición que es de $2 \times 10^8 \text{t}$.

Formación del ácido sulfúrico atmosférico:

Puede darse por dos mecanismos distintos

- 1.- $\text{SO}_2 \xrightarrow{h\nu}$ en presencia de O_2 u O_3 , SO_3 , H_2O , H_2SO_4
- 2.- SO_2 en presencia de radicales $\text{HO}\cdot$, $\text{HO}_2\cdot$, H_2SO_4

El ácido sulfúrico en la atmósfera se encuentra como una suspensión coloidal (líquida).

Compuestos azufrados en la atmósfera:

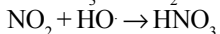
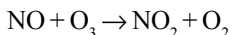
La concentración final normal de compuestos azufrados resulta ser de unos $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que no tiene efectos trascendentes más allá de la lluvia ácida como fenómeno local. En las zonas donde se alcanzan valores de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aparece necrosis de los tejidos vegetales y a valores mayores de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hay efectos respiratorios en los seres vivos (asma, bronquitis crónica).

En Londres, en 1952, la persistencia de varios días de una niebla asociada a compuestos azufrados originó un recrudecimiento de las enfermedades pulmonares e incluso fallecimientos.

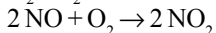
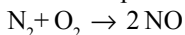
Contaminación del aire por nitrógeno: NO_x y otros

Con la denominación genérica de NO_x los ambientalistas se refieren a los óxidos contaminantes del nitrógeno, los cuales contribuyen a la formación del smog fotoquímico, a la lluvia ácida y al efecto invernadero. Se trata principalmente de NO y NO_2 , y su presencia en el aire, junto al NH_3 y otros contaminantes nitrogenados, puede deberse a los siguientes motivos:

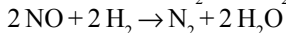
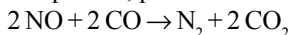
- Emisiones volcánicas: pueden emitir NO_x y NH_3 hasta la estratosfera inclusive. Si se acumulan en la troposfera contribuyen al efecto invernadero. También, por distintos mecanismos pueden transformarse en ácido nítrico atmosférico, al reaccionar los NO_x atmosféricos con distintos radicales libres
 $\text{N}_2\text{O} + \text{O} \rightarrow 2\text{NO}$



- Procesos biológicos: constituyente esencial de los seres vivos, el ciclo del nitrógeno es parte fundamental del equilibrio químico del planeta.
- Fuentes antropogénicas: durante los procesos de combustión de hidrocarburos a altas temperaturas en presencia de aire puede ocurrir que



En el caso de autos y otros medios de transporte, estas emisiones se reducen utilizando conversores catalíticos para los gases de escape, principalmente Al_2O_3 con platino, paladio o rodio, los cuales catalizan las siguientes reacciones



En las centrales eléctricas se desarrollan nuevas tecnologías tendientes a minimizar la emisión de NO_x en los gases, una de ellas consiste en ingresar al sistema de combustión un chorro de aire con una suspensión turbulenta de carbono y caliza (CaCO_3) pulverizados. Estos provocan que la combustión discurra a una temperatura más baja que la necesaria para la formación de los NO_x , disminuyendo así su formación y emisión.

Daños ocasionados por la lluvia ácida:

- Acción corrosiva sobre los metales y materiales de construcción.
- Acción perjudicial sobre la salud de las personas.
- Acidificación del suelo, el SO_4^{2-} se combina con los cationes del suelo, dejando H^+ en su lugar.
- Escurrimientos ácidos desde el suelo a las cuencas hídricas, con aumento de la concentración de metales y disminución del pH en las mismas, poniendo en riesgo la continuidad de las especies.
- Puede fluir a las napas acuíferas y llegar a los lagos, alterando la biota acuática.
- Cuando los bosques se ven afectados por la lluvia ácida sufren una visible “pérdida de vitalidad”
- En presencia de radicales libres en la atmósfera el tiempo de vida media de los NO_x es 1 día y del SO_2 es de 7,7 días.

Cómo evitar la lluvia ácida:

Si bien ya mencionamos metodologías para reducir las emisiones de NO_x , no es tan fácil en el caso de los compuestos azufrados. Una de las mejores formas de disminuirla es la disminución en el uso de combustibles fósiles, disminución en el uso del parque automotor y desarrollar formas de energía más limpias.

En la industria una medida técnica correctiva bastante eficaz consiste en dispositivos que separen los contaminantes químicos antes de su emisión a la atmósfera.

El efecto invernadero:

La temperatura terrestre está determinada por el equilibrio entre el flujo energético proveniente de la luz solar (flujo hacia dentro) y el flujo energético proveniente de la superficie terrestre (flujo irradiado hacia fuera).

A la superficie terrestre llega solo el 70 % de la radiación solar, debido a que distintos efectos que tienen lugar en la alta y baja atmósfera, impiden la llegada del otro 30%. Estos efectos podemos resumirlos de la siguiente manera:

- En la alta atmósfera, el ozono, dadas las características estructurales de su molécula, absorbe radiación UV y la reemite en todas direcciones.
- En la baja atmósfera, la presencia de aerosoles (sistema coloidal con tamaño de partícula mayor a 0,1 μm , formados por polvo continental y sales marinas) disminuye por reflexión en aproximadamente 100 w/m^2 la potencia solar que llega a la superficie (e solar $\times \text{m}^2$: 800-1200 w dependiendo del albedo).
- El material particulado presente en la atmósfera dispersa energía hacia el espacio exterior, mediante un proceso conocido como difusión molecular de Rayleigh, el cual tiene más incidencia en la radiación de λ corta (azul) que en largas (rojo).

Si bien la λ de la radiación emitida depende de la temperatura absoluta del medio emisor, la mayor parte de la emisión de la superficie terrestre tiene una λ de 4 μm . Sin embargo una pequeña parte de la radiación emitida es IR, ($\lambda > 780 \text{ nm}$), la que es absorbida y vuelta a emitir en todas direcciones (inclusive hacia la tierra) por algunos gases presentes en la atmósfera (especialmente vapor de agua, CO_2 , CH_4 , O_3). Este efecto provoca una retención de la radiación que debería ser emitida por la superficie continental y oceánica de unos 150 w/m^2 y se conoce como efecto invernadero.

La radiación solar es solo uno de los factores determinantes de la temperatura terrestre, pero el clima es en verdad mucho más complejo. El delicado equilibrio climático de nuestro planeta se ve influenciado también, en gran medida, por la actividad volcánica planetaria y por el comportamiento de los océanos, corrientes y mareas. También la nubes juegan un papel muy importante en el equilibrio radiativo del planeta. Por su parte superior reflejan hacia afuera buena parte de la radiación que proviene del sol, pero por su parte inferior el vapor de agua actúa como un gas con efecto invernadero, absorbiendo parte de la energía IR que es emitida hacia afuera por la superficie terrestre.

Otro factor que incide notoriamente en los climas locales de determinadas regiones es la creación o surgimiento de “islas urbanas”, megaciudades que concentran el calor, en especial durante las horas diurnas, debido a la concentración de asfalto y cemento con que están construidas.

En cuanto al dióxido de carbono, gas que apareció en la atmósfera a partir del inicio de la vida, la misma biosfera fue mutando la atmósfera hacia las condiciones aeróbicas

compatibles con la vida tal cual las conocemos hoy (fotosíntesis, ciclo del C) Sin embargo, en los últimos siglos, la concentración de este gas en la atmósfera está experimentando un crecimiento exponencial debido a la actividad antrópica.

Mientras que un bosque en crecimiento, debido a la acumulación de tejidos vegetales, realiza una absorción significativa de CO_2 , en la deforestación, debido a la descomposición del material vegetal y a la posterior quema de aquellas partes de árboles y plantas que no son económicamente utilizables, se produce una emisión significativa de dióxido de carbono. Parte del dióxido de carbono así emitido a la atmósfera es absorbido por los océanos (4000 millones de toneladas anuales) donde participa de los ciclos vitales de las algas marinas y en la formación de carbonatos inorgánicos que pasan a formar parte de los sedimentos marinos.

Otra fuente antrópica de CO_2 , que hoy representa la principal fuente generadora de este gas, es la combustión de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón).

Estudios serios indican que el consumo de estos combustibles podría caer a la mitad si se implementaran programas de mejora de rendimiento. Otra alternativa es reemplazar la obtención de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles hacia otras fuentes de generación como por ejemplo eólicas, solar, etc.

Otra fuente importante de generación de dióxido de carbono es la fabricación de cal y cemento.

El análisis de los registros de temperatura continentales y marítimos confirma que nuestro planeta se ha calentado medio grado Celsius en los últimos cien años.

Los climatólogos disponen de registros serios y periódicos de temperaturas desde mediados del siglo XX. Estos registros, a su vez, deben ser seriamente estudiados y corregidos, considerando la evolución de los instrumentos de medida, los errores y variaciones de los métodos, el impacto de alteraciones climáticas locales no significativas a nivel global, etc. Si bien este aumento de medio grado es aceptado como tendencia por la comunidad científica, quedan aún por determinar las causas del mismo. Existen estudios serios que conducen a aceptar que uno de los factores a los que se puede atribuir este aumento es el incremento en la atmósfera de los gases con efecto invernadero, pero estos estudios aún no son concluyentes. En efecto, conjuntamente con el aumento de la temperatura de las capas más bajas de la atmósfera, desde hace un cuarto de siglo se observa una tendencia al enfriamiento de la estratosfera y una tendencia general a la fusión de los glaciares. Por el momento son solo indicios. Por otra parte, otros fenómenos contaminantes, como la generación industrial de compuestos sulfurados inyectados en la atmósfera en forma de aerosoles que actúan como núcleos de condensación para la formación de nubes altamente reflectantes tienden a enfriar la atmósfera, enmascarando el calentamiento ya iniciado.

Las dudas que esgrimen hoy muchos gobiernos y fuentes de poder económico con respecto al efecto invernadero irán cayendo en los próximos años, gracias al perfeccionamiento de los modelos informáticos y a la recopilación de nuevos datos, lo que conducirá a mejores predicciones del cambio climático.

El ozono estratosférico

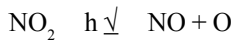
Una vez que en la atmósfera terrestre se establecieron las condiciones de aerobiosis compatibles con la vida, tal como la conocemos actualmente,

parte del oxígeno atmosférico se transformó en ozono atmosférico, a través de los siguientes procesos:

1.- Fotólisis del oxígeno atmosférico, iniciada por la radiación UV a $\lambda < 240 \text{ nm}$:



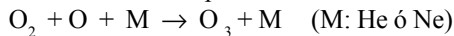
2.- Fotodisociación del dióxido de nitrógeno en la troposfera



3.- Fotodisociación del ozono ya existente al absorber UV entre 200 y 300 nm



Los átomos de oxígeno formados en cualquiera de los tres procesos anteriores son muy reactivos y pueden intervenir en la siguiente reacción de combinación con moléculas de oxígeno en presencia de un gas inerte del aire que absorberá la energía térmica liberada, evitando así la ulterior descomposición del ozono formado:



La importancia de la presencia de una suficiente cantidad de ozono en la atmósfera terrestre radica en que este gas es un fuerte absorbente de la radiación solar de λ menores a 300 nm, lo que implica una absorción de la radiación UV que nos llega desde el sol, de modo que las condiciones en la superficie terrestre sean compatibles con la vida.

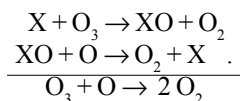
La máxima concentración del ozono se encuentra en la estratosfera, entre los 20 y 30 km de altura con respecto al nivel del mar. La temperatura media en esta región de la atmósfera es de -40°C en parte regulada por la acción del ozono.

La medición de la capa de ozono, se expresa en términos de ozono puro, como si éste se concentrara a 21 km de altura y en CNPT. En dichas condiciones la capa de ozono tendría un espesor de 3 mm en torno a la tierra y este valor normal se conoce como 3 U.D. (unidades Dobson). La medición del ozono se efectúa con un espectrómetro de Dobson que emite luz a una intensidad que se absorbe por el ozono y a otra intensidad que permite discriminar la absorción conjunta de los aerosoles que contaminan la atmósfera. Estos espectrómetros tipo Dobson efectúan sus mediciones desde los satélites meteorológicos tipo Nimbus.

En la destrucción estratosférica del ozono entran en juego distintas sustancias, la mayoría de ellas contaminantes antropogénicos de la atmósfera.

Nombre	Abreviatura	Fórmula	Proviene de
Freón 11	CFC-11	CFCl_3	Aerosoles, refrigeración
Freón 12	CFC-12	CF_2Cl_2	Espumas, solvente
Freón 22	CFC-22	CHF_2Cl	Refrigeración
Freón 113	CFC-113	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	Solvente
Metilcloroformo		CH_3CCl_3	Solvente
Tetracloruro de carbono		CCl_4	Solvente, fumigación
Halón 1301		CF_3Br	Extinguidores
Halón 1222		CF_2ClBr	Extinguidores
Óxidos de nitrógeno	NO_x	NO , NO_2 , etc	Subproductos de actividad industrial
Dióxido de carbono		CO_2	Quemado de combustibles, etc
Metano		CH_4	Subprod. Act. agrícola, industrial y minera

Estudios realizados en los últimos decenios demuestran que numerosas especies químicas derivadas de la contaminación antrópica catalizan la desaparición del ozono estratosférico mediante un proceso que podemos resumir de la siguiente manera (X representa cualquiera de las especies descritas en el cuadro anterior)



Además, los gases que producen el efecto invernadero, al encontrarse localmente concentrados en una región de la atmósfera, incrementan la temperatura en la zona lo que produce como consecuencia cinética un aumento de la k (cte de velocidad específica) y, por lo tanto, un incremento de la velocidad en el proceso de descomposición del ozono.

Estadísticas del año 1992 indican que en la Argentina se consumen anualmente 6041 t de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y que conducen a la destrucción de 4402 t de ozono (PAO potencial de agotamiento de ozono).

Desde 1974 la comunidad científica advierte que la capa de ozono estaba siendo dañada, pero recién en 1985 se descubrió el agujero de ozono sobre la Antártica. A partir de allí la comunidad mundial comenzó una toma de conciencia plasmada en el Convenio de Viena y más tarde en el Protocolo de Montreal, con el compromiso, por parte de los países firmantes, de buscar tecnologías alternativas y mejorar las tecnologías ya existentes con el fin de disminuir la emisiones a la atmósfera de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO)

Bibliografía:

Ecología y medio ambiente. MILLER, G.T. Grupo Editorial Iberoamerica. Mexico. 1994

Ecology in the 20th century. BRAMWELL, A. Yale University Press. New Haven. 1989.

Efficient use of energy. American Physical Society. American Institute of Physics. New York. 1975.

Global Alert: The ozone pollution crisis. FISHMAN, A. KALISH, R. Plenum Press. New York. 1990.

