

377.8

A 37 mat



*Ministerio de Cultura y Educación*

DIRECCION NACIONAL DE GESTION  
DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

**PNCD**

Programa Nacional de  
Capacitación Docente

MATERIAL DE TRABAJO  
para la CAPACITACION EN QUIMICA

República Argentina  
1993

---

---

**MINISTERIO DE CULTURA Y EDUCACION**

---

---

**Ministro de Cultura y Educación**

Ing. Agr. Jorge Alberto Rodríguez

**Secretaria de Programación y Evaluación  
Educativa**

Lic. Susana Beatriz Decibe

**Subsecretaria de Programación y Gestión Educativa**

Lic. Inés Aguerro

**Director Nacional de Gestión de Programas y Proyectos**

Prof. Darío Pulfer

**Coordinadora del Programa Nacional de Formación y Capacitación Docente**

Prof. Cristina Armendano

**PROGRAMA**

**PROMOCION Y DIFUSION  
DE LA CIENCIA**

**CALIDAD AMBIENTAL  
A TRAVES  
DE LA QUIMICA**

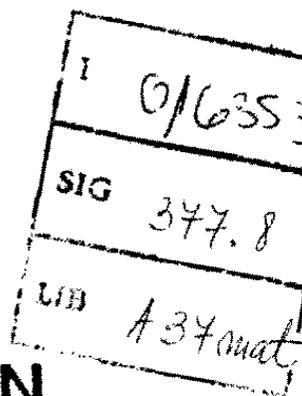
**•Eduardo Jorge Bottani**

**\* Investigador de la CIC - Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA). Casilla de Correo 16, Suc. 4 - 1900 La Plata.**

**LA PLATA, Noviembre de 1991**



**provincia de buenos aires  
comisión de  
investigaciones científicas  
calle 526 entre 10 y 11 1900 La Plata  
telefonos 43795 217374 49581**



## Prólogo

El fuego cambió la vida del hombre. La tecnología del fuego permitió pasar de la edad de piedra, a la del cobre y luego a la del hierro.

La Ciencia que crea tecnología y la tecnología como motor de cambio sociológico van transformando nuestro planeta y su atmósfera.

Estamos tomando conciencia, empezamos a percibir una tendencia a realizar un llamado de atención y una reflexión crítica.

Esta reflexión no es ahora local, regional o nacional, ya es de todo el mundo. Como llega masivamente produce temores, confusiones y perturbaciones. ¿Qué hacer?

La ética y la religión nos darán respuestas, pero las opciones serán individuales, se sumarán opiniones y las naciones elegirán las sendas.

Los científicos y los tecnólogos fundamentarán sus decisiones. Necesitamos que la sociedad pueda también fundamentar sus opiniones y para ello es necesario que cada individuo sepa elegir.

La educación como cambio de conductas debe dar las herramientas al hombre y a las colectividades.

El Programa de Promoción y Difusión de la Ciencia presenta estas notas destinadas a los docentes, para darles información, para que piensen y hagan pensar.

Dra. Lydia Ethel Cascarini de Torre

## CALIDAD AMBIENTAL A TRAVES DE LA QUIMICA

La lanza de Aquiles cerrará las mismas heridas que provoca siempre que la menejen otras manos. Y es la mano que hiere y la que cura es la misma, el tránsito de una acción a la otra revela que algo ha cambiado sustancialmente en el corazón de Aquiles"

V. Massuh "La Flecha del Tiempo"

*No se acumula, no se devuelve: sin problemas.*

Cada año, en el mundo, Usted y yo tiramos millones de toneladas de plásticos al ambiente. Un porcentaje muy alto va directamente al océano. De hecho, solamente en los Estados Unidos, 9 Mt (mega toneladas) de residuos sólidos son arrojados directamente al mar. Los buques mercantes que recorren los mares del planeta arrojan 6.6 Mt de basura por año al mar.

Contrariamente a lo que muchos creen los desechos plásticos se degradan, pero este proceso demanda unos 50 años. Una gran cantidad de basura puede acumularse en ese periodo. El ambiente marino es particularmente sensible a este problema, por ejemplo, los plásticos que flotan son confundidos con medusas y/o huevos u otro tipo de comida por los animales marinos; además de estar rodeados de basura plástica debemos sumar las 150000 t de hilo de pesca que es desechado anualmente en el mar.

Otro aspecto desagradable de este problema se observa en el

Artico (la Antártida se halla protegida por leyes internacionales desde hace tiempo) donde la basura se acumula y no es biodegradada debido a las bajas temperaturas reinantes.

Los químicos han dado un gran paso en la dirección de la solución de este problema. El remedio se halló en la misma construcción de los plásticos.

Los plásticos son polímeros de compuestos hidrocarbonados y consisten en largas cadenas de unidades moleculares que se repiten (monómeros). Los químicos han encontrado varias formas de introducir cambios en las moléculas de los plásticos de manera que el material resultante esté de acuerdo con nuestras necesidades y al mismo tiempo se proteja el medio.

Una de estas formas es la de intercalar en las cadenas de monómeros grupos o moléculas sensibles a la luz. Cuando el plástico es expuesto a la luz solar estos grupos absorben la radiación y se descomponen rompiendo el polímero en porciones más pequeñas. La Naturaleza hace el resto del trabajo dado que las moléculas resultantes son pequeñas y fácilmente biodegradables.

A estos polímeros se los conoce como fotodegradables. La inserción de grupos cetónicos ( $>C=O$ ) en polímeros comunes como poliestireno y polietileno ha sido de gran interés en la preparación de polímeros fotodegradables. Estos grupos cetónicos son estables en la luz artificial dado que absorben longitudes de onda más cortas como las que sí están presentes en la luz solar.

Otra manera de construir plásticos "digeribles" para la Naturaleza es la de introducir en las cadenas poliméricas grupos moleculares considerados como "apetitosos" por microorganismos del ambiente. Estos microorganismos se encargan de cortar las cadenas en porciones más pequeñas al alimentarse con esos grupos moleculares.

Afortunadamente con innovaciones como estas el problema de los deshechos plásticos será, en un futuro cercano, un problema superado.

Incluimos este pequeño relato como un ejemplo del rol que le cabe desempeñar a la Química en la solución de los problemas

del ambiente.

Cada sociedad trata de proveerse a sí misma de alimentación y alojamiento adecuados dentro de un ambiente saludable. Cuando estas necesidades se encuentran aseguradas la atención se centra en el confort y la conveniencia. El grado en que estas necesidades básicas se hallan satisfechas determinan la calidad de vida. Generalmente, a pesar de todo, se requiere la toma de decisiones porque una u otra de las condiciones que definen la calidad de vida son obtenibles más fácil o rápidamente a expensas de las demás.

Actualmente encontramos que nuestras necesidades de consumir mayor cantidad de productos, energía y movilidad están en conflicto directo con el mantenimiento de un ambiente saludable.

Una de las grandes preocupaciones de nuestro tiempo es la protección del ambiente en vista de la creciente población mundial, continua concentración poblacional (urbanización) y elevación del nivel de vida.

La degradación del ambiente, con los consiguientes daños a la salud y ruptura de ecosistemas, no es un fenómeno nuevo. Las perturbaciones provocadas por el hombre en el ambiente han sido notadas desde casi los mismos orígenes de la historia. El problema de los desagües cloacales comenzó con el nacimiento de las ciudades. Otro ejemplo nos lo da la ciudad de Londres, la que mucho antes del siglo XX, era una ciudad plagada por la contaminación del aire debido a los fuegos usados para cocinar y para calefacción. Un ejemplo temprano de higiene industrial, más bien de su necesidad, era el problema del acortamiento de la vida de los deshollinadores debido al cáncer, que actualmente se atribuye a la continua exposición a las cenizas conteniendo compuestos carcinógenos (hidrocarburos aromáticos polinucleares). Evidentemente hay poco consuelo en el hecho que los problemas ambientales no sean nuevos. La población mundial es cada vez mayor mientras que las ciudades crecen aún más rápidamente. El consumo de energía per cápita continúa aumentando. Los problemas de polución se están haciendo cada vez más evidentes y estamos comenzando a notar interacciones sutiles en el mundo que nos rodea y descubriendo efectos secundarios que

antes pasaban desapercibidos.

Ciertas perturbaciones ambientales han comenzado a aparecer a escala global. Accidentes industriales ocasionales, como los de Bhopal (India), Seveso (Italia), Chernobyl (Rusia) nos hacen ver que la producción en gran escala de productos, requeridos por los consumidores, requiere el manejo de grandes cantidades de materiales potencialmente muy peligrosos. La tragedia de Bhopal nos pone frente a un dilema. El hecho ocurrió en un país plagado de hambre y los productos tóxicos que se elaboraban en la planta siniestrada eran usados para producir compuestos que anualmente salvaban millones de vidas por incrementar la producción de alimentos.

Pasando al lado positivo podemos señalar que la conciencia pública, respecto a la calidad ambiental, está creciendo. Ya hay encuestas serias que, por ejemplo en Estados Unidos, marcan esta tendencia; gran parte de la población acepta pagar más por productos no contaminantes o preparados por vías no contaminantes (por ejemplo, nafta sin plomo) y hasta están dispuestos a pagar más impuestos para mejorar el ambiente. Esta actitud está traspasando las fronteras favorecida por el hecho que no se trata de un problema que deba y pueda ser resuelto por un país sino que es una cuestión que atañe al planeta entero.

Se requieren estrategias efectivas para salvaguardar el planeta. Para elaborar estas estrategias debemos ser capaces de responder acertadamente a una serie de preguntas tales como:

\* ¿Qué sustancias indeseables o potencialmente peligrosas están presentes en el agua, aire, suelo y alimentos?

\* ¿De dónde provienen esas sustancias?

\* ¿Cuáles son las alternativas para reducir o eliminar dichas sustancias?

\* ¿Qué relación hay entre el tiempo de exposición a una sustancia dada y su peligrosidad?

\* ¿Cómo elaborar una lista de prioridades para atacar los problemas más urgentes?

\* ¿Cómo elegiremos entre las opciones disponibles que ofrecen acciones correctivas?

En la búsqueda de la respuesta a todas estas preguntas, salvo la última, están involucrados los químicos.

Necesitamos más químicos que desarrollen técnicas analíticas más sensibles y selectivas para encontrar las sustancias presentes en el medio. Para descubrir el camino seguido por los contaminantes hasta su origen se requiere que los químicos trabajen asociados con especialistas en meteorología, oceanografía, vulcanología, clima, biología e hidrología. Encontrar el origen de algunos contaminantes puede demandar el conocimiento detallado de las reacciones químicas que tienen lugar entre la fuente de polución y los productos nocivos o tóxicos finales. En consecuencia el desarrollo de opciones requiere el concurso de toda la Química.

Si la mortalidad mundial debida a la malaria no puede ser reducida con el uso del DDT debido a su persistencia en el ambiente, ¿qué sustancias deberán sintetizarse que sean igualmente efectivas para combatir la malaria pero que se descompongan espontáneamente?

Si tenemos que usar fuentes de energía de baja calidad para satisfacer nuestras necesidades, ¿qué catalizadores y nuevos procesos pueden desarrollarse para no agravar los problemas de la lluvia ácida y la liberación de carcinógenos al ambiente en las usinas que queman carbón?

Nuestra sociedad debe asegurar la salubridad de las industrias químicas si se desea disponer de una alerta temprana de los daños al ambiente emergentes de su actividad, comprender los orígenes de dicha degradación y tener opciones económicamente aceptables entre las que poder elegir.

Otras disciplinas hacen sus propias contribuciones pero ninguna juega el rol central de la Química en estos problemas.

La pregunta que se refiere a qué exposición a una sustancia debe considerarse peligrosa, es exclusiva de la medicina, toxicología y epidemiología. Estas disciplinas científicas hacen frente a serios desafíos ahora que la sociedad reconoce la relación inversa que existe entre cuánto puede disminuirse el riesgo y el costo social para lograrlo.

La medicina debe profundizar sus conocimientos sobre los riesgos asociados con sustancias tales como el plomo en la

atmósfera, cloroformo en el agua potable, estroncio en la leche, benceno en los lugares de trabajo y formaldehído en el hogar, etc.. El enunciar cualitativamente que tal o cual sustancia es carcinógena no basta. Debemos ser capaces de evaluar los riesgos y costos contra los beneficios que se perderían si el uso de una determinada sustancia fuera prohibida. También debemos estar en condiciones de comparar esos riesgos con aquellos presentes que se originan por los niveles naturales.

A pesar de todo la sociedad debe ser consciente que no puede afrontar el costo excesivo que implica la eliminación total de los riesgos (riesgo cero) dado que a medida que el nivel de riesgo se aproxima a cero los costos tienden a infinito.

Finalmente, la selección de una o varias alternativas tendientes a solucionar estos problemas se traslada a la arena pública y particularmente política. Tanto los químicos como los científicos que trabajan en las otras áreas del conocimiento tienen una responsabilidad muy grande en lo que respecta a la exactitud de la información que proveen. Toda decisión política merece y requiere la mejor y más objetiva información científica. No hay nada más frustrante para la sociedad que ser enfrentada con problemas y tener que tomar una decisión sin contar con el conocimiento adecuado de la ciencia involucrada. Los científicos, incluidos los químicos, deben aceptar la responsabilidad que les cabe en la difusión al público, los medios y al gobierno, de un cuadro factual expresado en un lenguaje claro y libre de la jerga técnica.

Todas nuestras estrategias de protección deben basarse en umbrales de peligro reales y en nuestra habilidad para detectar; en el medio, las sustancias peligrosas antes que alcancen dichos umbrales. Los químicos deben continuar refinando las técnicas de análisis de manera tal que, aún en muy bajas concentraciones, una sustancia pueda ser monitoreada desde mucho antes que se desate el pánico por la necesidad de encontrar una solución. Cuando esto es posible se puede decir que la detección es sinónimo de protección. Desafortunadamente es común que la sociedad y los gobiernos confundan detección con peligro. Esto se basa en la creencia popular que una sustancia demostrada tóxica a una concentración dada lo será a cualquier otra y viceversa. Hay

muchos ejemplos que prueban que, en general, esto no es cierto.

Consideremos el monóxido de carbono (CO). Este gas, siempre presente en la atmósfera es peligrosamente tóxico en concentraciones que excedan las 1000 ppm y se considera que no tienen efectos negativos sobre la salud exposiciones prolongadas a concentraciones que aún excedan las 10 ppm. No debemos, por lo tanto, llegar a la conclusión errónea de que es necesario remover todo el CO que hay en la atmósfera. Esto no solo sería imposible sino también tonto, dado que vivimos y nos desarrollamos en una atmósfera natural que siempre contiene CO en cantidades fácilmente detectables (aproximadamente 1 ppm). Nuestra tarea consiste en decidir en qué momento, entre el nivel de toxicidad y el nivel considerado seguro, debemos tomar medidas correctivas.

El selenio presenta otro problema interesante. Ciertas plantas que crecen en suelos que contienen selenio tienden a concentrarlo y llegar a niveles tan altos que un animal que ingiera dicha planta se envenena. Un ejemplo de este tipo de plantas es el *Astragalus*, conocida como "hierba loca". El trigo puede realizar lo mismo y mientras los humanos no son afectados; las gallinas alimentadas con el mismo grano producen embriones deformes. Por otro lado, se sabe que el selenio es fundamental en la dieta de ratas, gallinas y cerdos. Más aún, se ha encontrado que el selenio, en niveles apropiados, es un anticarcinógeno natural, dado que es un componente de la enzima glutatión peroxidasa que es responsable de la descomposición de los peligrosos hidroperóxidos.

En China, las poblaciones infantiles con bajo nivel de selenio en sangre sufren de miocarditis múltiples (enfermedad de Keshan) y los adultos muestran niveles altos de muerte por cáncer, en particular cáncer de hígado. Concretamente, el selenio es indispensable para la vida animal y humana y se convierte en tóxico a niveles excesivos. Para un adulto la ración diaria de selenio debe ser de 50 a 100  $\mu\text{g}$ . El nivel permitido de selenio en el agua potable es de 10 ppb (partes por billón). Este nivel fijado para evitar cualquier riesgo de toxicidad es una 10 veces menor que el nivel requerido para mantener una salud óptima.

Este ejemplo nos muestra cómo el hecho de detectar trazas de un elemento tóxico a altas concentraciones, no implica un riesgo para la salud. Bien por el contrario, esta detección temprana nos da el tiempo suficiente para discutir y analizar detenidamente las fuentes, caminos y niveles a los cuales hay que tomar acciones correctivas; nuevamente surge la expresión: detección es protección.

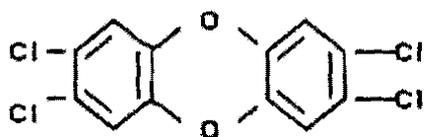
Algunas personas claman por la llamada aproximación a la situación de riesgo cero en lo que se refiere a la polución ambiental. Riesgo cero significa la remoción absoluta de toda sustancia tóxica o potencialmente tóxica de nuestra atmósfera. En el ejemplo del CO esta postura implica eliminar hasta la última molécula de CO de la atmósfera. Actualmente se está reemplazando la filosofía utópica de riesgo cero por la de evaluación y control del riesgo.

En ambos casos, evaluación y control del riesgo, el punto crucial es poder analizar sistemas muy complejos como el aire, agua, suelo y sistemas biológicos, todos formados por cientos de productos naturales. Las conclusiones referidas a las fuentes, movimiento y destino de contaminantes; dependen de medidas precisas en el ambiente sin importar que se trate de lluvia ácida, cambio global del clima, destrucción de la capa de ozono o disposición de desechos tóxicos. Decisiones altamente costosas son a veces tomadas en base a información ambiental que es peligrosamente inadecuada e imprecisa. La mejor inversión con réditos futuros sería alentar y desarrollar investigaciones a largo plazo en lo que podríamos llamar ciencia ambiental, y al mismo tiempo, invertir en mejorar las técnicas de monitoreo, lo que evitará la necesidad de costosos programas de emergencia.

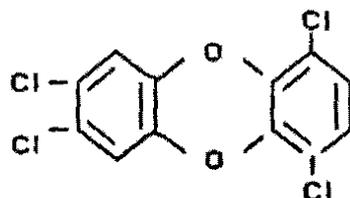
Un incremento en la efectividad de las mediciones ambientales requiere herramientas mejoradas. El desafío está en lograr detectar y medir concentraciones muy bajas de sustancias que se encuentran en una mezcla muy compleja y que al mismo tiempo contienen varias sustancias nocivas. Los objetivos principales son mejorar la sensibilidad, selectividad, separación, muestreo, exactitud, velocidad e interpretación de los resultados. Por ejemplo, una línea activa de investigación está conectada con las técnicas de separación que permitan un

análisis rápido y certero de mezclas complejas de contaminantes y pesticidas encontrados en desechos químicos, ríos y lagos contaminados y muestras biológicas.

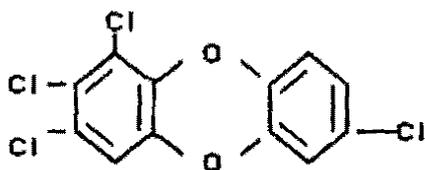
Un éxito notable ha sido el desarrollo de técnicas analíticas que permiten la separación y determinación cuantitativa de cada uno de los 22 isómeros de la tetraclorodioxina a un nivel de partes por trillón (1 parte en  $10^{12}$ ).



2,3,7,8-tetraclorodioxina



2,3,6,9-tetraclorodioxina



1,2,3,7-tetraclorodioxina

Especies muy reactivas en la atmósfera no pueden ser llevadas al laboratorio para su estudio. Estas sustancias plantean un desafío especial dado que requieren el desarrollo de técnicas de análisis remoto. Un éxito del pasado en esta área es, por ejemplo la posibilidad de determinar por espectroscopía infrarroja la concentración de formaldehído y ácido nítrico en la atmósfera a más de un kilómetro de distancia. Con estos experimentos es posible determinar en forma simultánea las concentraciones de formaldehído, ácidos fórmico y nítrico, nitrato de peroxiacetilo y ozono en el aire al nivel de partes por billón (1 parte en  $10^9$ ). Notemos que estas concentraciones son bajas para producir irritación pero son suficientes para provocar efectos notables en las reacciones químicas atmosféricas.

Dispositivos laser basados en una tecnología similar a la del radar, llamadas lidar, han sido utilizados con éxito en la detección y medición de dióxido de azufre a nivel de ppm en el

humos de usinas que queman carbón, a varios kilómetros de las mismas. Diodos laser sintonizables son capaces de detectar inmediatamente la presencia de contaminantes en el caño de escape de motores de combustión interna.

Varias técnicas laser incluyendo absorción, fluorescencia y Raman coherente, necesitan ser examinadas más detalladamente para extender su uso al análisis de la atmósfera. Uno de los objetivos debe ser lograr mejores medidas en la troposfera (capa de la atmósfera más próxima a la superficie terrestre) y en la estratosfera (capa siguiente). Se necesitan métodos rápidos, confiables y más económicos para medir trazas de especies, que como los radicales ox drilos, juegan papeles importantísimos en la química atmosférica.

La investigación tendiente a dilucidar el estado de los constituyentes del ambiente está ganando importancia día a día porque actualmente reconocemos que, tanto la toxicidad como la movilidad, varían mucho con el estado de la especie química.

El cromo hexavalente es tóxico, mientras que el trivalente lo es mucho menos, y para algunas formas de vida es indispensable. El arsénico en algunas formas se mueve rápidamente a través del agua subterránea, mientras que otras formas son retenidas fuertemente, adsorbidas en las rocas y la superficie del suelo. De los 22 isómeros de la tetraclorodioxina, una es miles de veces más tóxica que el resto. Estos ejemplos ilustran la importancia de los métodos analíticos que permitan la identificación de la forma química como así también, la cantidad de contaminantes potenciales. La electroquímica, cromatografía y espectrometría de masa, son algunas de las herramientas más poderosas con las que contamos.

La complejidad de los problemas ambientales requieren el análisis de cantidades enormes de datos. Se necesita realizar investigación que ayude en la interpretación y uso racional de estos datos. Desarrollos en el campo de la inteligencia artificial que emplea el reconocimiento de patrones proveerá una ayuda invaluable en esta área. Los recientes avances en el desarrollo de microprocesadores y pequeñas computadoras permiten la construcción de dispositivos de medida "inteligentes". También se deberá prestar atención a la organización,

almacenamiento y recolección de datos del ambiente.

## 1. Energía y polución:

Como toda actividad humana, la producción de energía tiene un cierto impacto sobre el ambiente y puede representar un riesgo para la salud. Estos efectos serán particularmente importantes por el hecho de que el sector energético representa un gran porcentaje de la actividad económica y además porque se halla concentrada en un número relativamente pequeño de usinas de gran potencia.

Cuando se habla de polución conviene distinguir entre el régimen normal de funcionamiento y las circunstancias excepcionales que se combinan para desembocar en una catástrofe. El límite entre ambas situaciones que es bien difuso depende, al mismo tiempo, de la importancia de sus efectos, las implicancias sobre la población en su conjunto y los impactos a mediano y largo plazo.

En este capítulo nos limitaremos al análisis de la polución provocada en régimen normal por la producción de energía.

### 1.1 Contaminación física:

Sabemos que para obtener energía mecánica a partir de una fuente de calor es necesario calentar el medio, sea el agua de un río, lago, mar o la atmósfera misma. Por ejemplo una central nuclear que produce 1 GW a circuito abierto consume unos  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua la que es devuelta a su fuente a unos  $10^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura a la que fue captada. Este problema también está presente en las usinas térmicas clásicas. Si el agua de entrada está a  $20^\circ\text{C}$  la de salida estará a unos  $30^\circ\text{C}$ , el efecto no parece serio a menos que se considere que, por ejemplo, los salmones mueren si la temperatura del agua alcanza los  $26^\circ\text{C}$ , que a esas temperaturas se desarrolla otra flora acuática y que la capacidad de autodepuración del sistema es deprimida fuertemente. Los mismos efectos se presentan en el mar sobre todo en las costas bajas y los estuarios; un ejemplo en nuestro país es la central Piedrabuena situada en la ría de Bahía Blanca.

Un intento de remediar este problema lo constituyó el

refrigerador atmosférico, el cual consiste en una torre de enfriamiento común; esta solución no es adecuada dado que provocan un aumento de la niebla y la formación de escarcha.

Otro tipo de contaminación presente es la contaminación sonora de la cual no nos ocuparemos por ser del dominio de la física y la medicina.

### 1.2 Otros tipos de contaminación:

Otro tipo de polución es la del tipo pulverulento, es decir partículas de polvo lanzadas a la atmósfera aunque sea en extensiones pequeñas. Por ejemplo, en la industria del carbón la silicosis fue la causa de 700 muertes en 1980 solamente en Francia, se calcula que en promedio se producen 70 muertes por GW producido por año.

La combustión de carbón y de petróleo libera, entre otros productos, óxidos de nitrógeno, de azufre y de carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  principalmente). Más adelante nos ocuparemos de estos gases al tratar el problema de la atmósfera, ahora sólo mencionaremos que estos gases son responsables de problemas vasculares y respiratorios que en algunos casos conducen a la muerte. La instalación de una central de 1 GW de potencia, que quemase carbón con un tenor de azufre del 3% sin proceso de desulfurización del humo, provocaría un aumento del 6% de enfermedades cardiovasculares y aproximadamente 70 muertes anuales por estas causas.

Otro aspecto fundamental es la contaminación radioactiva, la cual adquiere importancia por sus efectos instantáneos y a largo plazo.

Un balance de los riesgos no se puede hacer con total seguridad debido a las incertidumbres involucradas en los cálculos. En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos de dos fuentes distintas.

	CARBON		NUCLEAR	
	1	2	1	2
Accidentes mortales (obreros)	1	2	0.4	0.2-0.5
Enfermedades profesionales	1-7	2	0.8	0.3
Muertes producidas por los deshechos	1-100	0.4-25	0.01-0.1	0.2

(muertes por GW producido y por año).

### 1.3 Fuentes de energía:

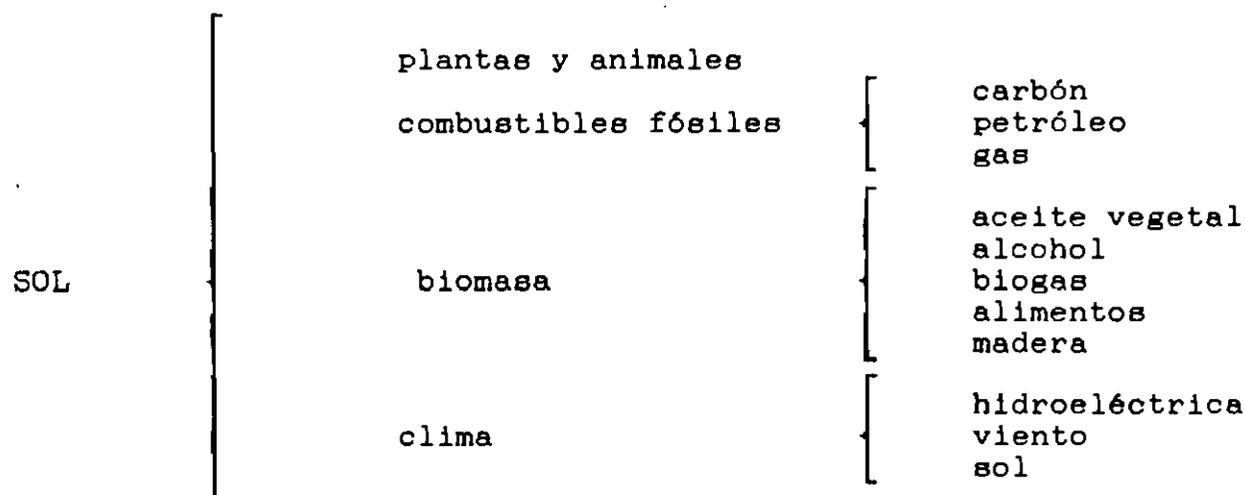
Las fuentes de energía que hemos analizado hasta ahora pertenecen a un solo grupo.

Las fuentes de energía se clasifican en renovables y no renovables.

\* Las no renovables incluyen a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y los combustibles nucleares (yacimientos de uranio).

\* Las renovables incluyen: biomasa, geotermia, solar, mareas e hidroeléctrica.

Los orígenes de estas fuentes y sus derivados se muestran en el cuadro de la página siguiente.



TIERRA	}	nuclear: fisión (uranio) y fusión (hidrógeno)
		geotérmica
LUNA	{	mareas

Las fuentes de energía renovables a veces se conocen como no convencionales y tienen la ventaja de ser poco contaminantes o en algunos casos directamente no contaminantes.

La conversión directa de luz en energía eléctrica se puede realizar a través del uso de celdas fotovoltaicas con una eficiencia no mayor que el 20% y por lo tanto de poca utilidad por el momento.

Otra posibilidad muy interesante es la producción de hidrógeno a partir del agua por electrólisis, usando energía solar.



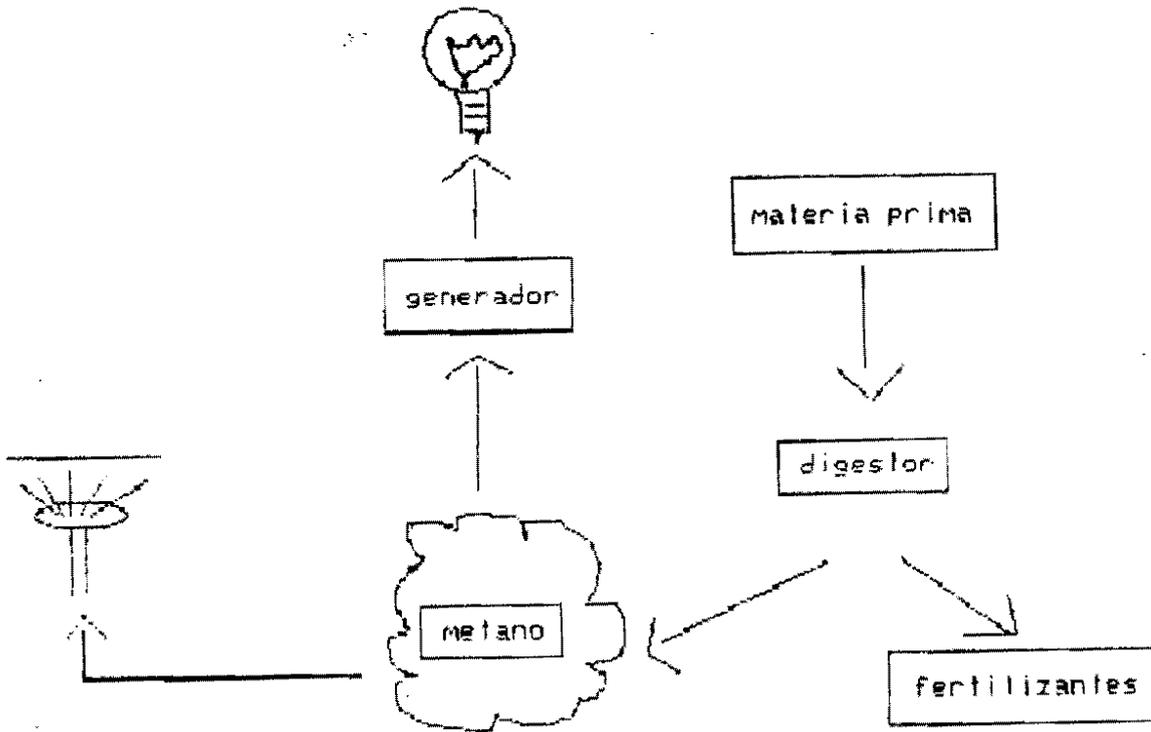
La eficiencia de la electrólisis es de alrededor del 83% pero al igual que en el caso anterior el rendimiento económico no es bueno, al menos por el momento.

Otra forma de obtener hidrógeno del agua es por conversión fotoquímica. Hay dos líneas de investigación en esta área: una biológica y la otra bioquímica. La aproximación biológica emplea microorganismos que descomponen el agua. La ruta bioquímica emplea enzimas obtenidas de microorganismos. Ambas aproximaciones aún no son aplicables pues la velocidad y duración de la producción son bajas.

Otra fuente de energía es la biomasa. La biomasa incluye todos los materiales animales y vegetales, vivos y muertos. La biomasa es una forma de almacenamiento de energía. Los hidratos de carbono, grasas y proteínas nos proveen de energía. La madera es y ha sido utilizada por la humanidad para obtener energía desde los comienzos de la historia, en la actualidad el uso de biogas y alcohol están ganando importancia.

El biogas es fundamentalmente metano ( $\text{CH}_4$ ). Una planta de biogas emplea como materia prima desechos animales y vegetales.

En la figura se presenta un esquema simplificado del sistema.



Las plantas productoras de biogás aumentan rápidamente en China ( $4.3 \cdot 10^6$ ), India (600000) y Corea (30000).

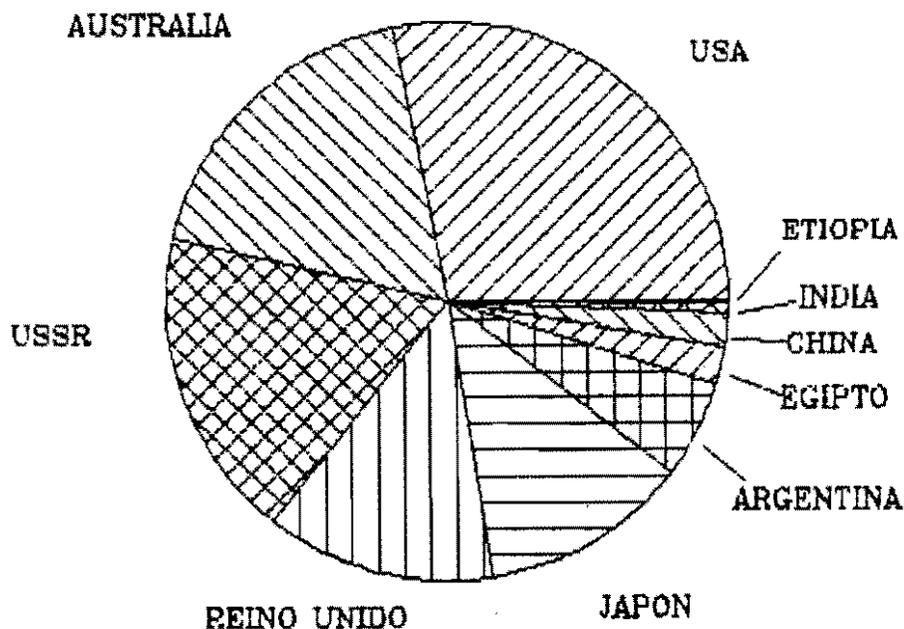
A pesar de los problemas que resuelven, estas metodologías alternativas aún presentan un problema serio y es el la contaminación atmosférica con dióxido de carbono, del que nos ocuparemos más adelante.

Otra cuestión que agrava la situación y hace imperativo que busquemos una solución ahora, es la creciente demanda global de energía. En la tabla que sigue se presentan algunos datos que ilustran esta cuestión.

## PRODUCCION DE ENERGIA EN EXAJ ( $10^{18}$ J)

	1985	2000	2020
<b>FUENTE</b>			
Carbón	115	170	269
Petróleo	216	195	106
Gas	77	195	106
Nuclear	23	88	314
Solar, geotérmica, etc.	33	56	100
Otras	0	4	40
<b>TOTAL</b>	<b>464</b>	<b>656</b>	<b>954</b>

En la figura que sigue podemos apreciar donde está ubicado nuestro país en lo que hace a consumo de energía medido como su equivalente en kg de petróleo. Para los Estados Unidos corresponde un valor de 7302 kg de petróleo per cápita y para la Argentina dicho valor es de 1460.

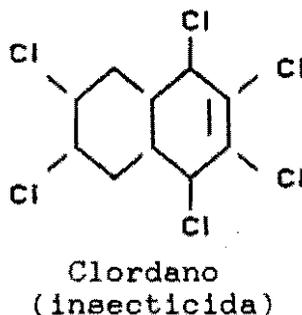
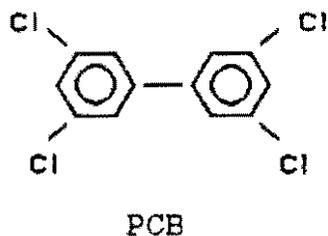
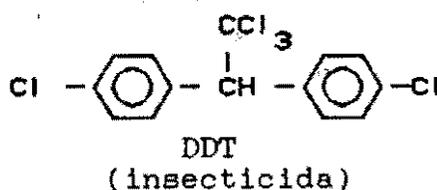
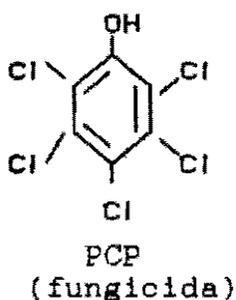


## 2. Pesticidas y herbicidas:

Otra fuente de polución que afecta principalmente las fuentes de agua y la tierra son los pesticidas y herbicidas.

No cabe ninguna duda del valor económico y social de los pesticidas y herbicidas. Ellos no solo han sido responsables de la eliminación de plagas que devastaban los cultivos, sino que también ayudaron a mejorar la producción de alimentos en el mundo entero. La FAO estima que aproximadamente 35 Mt de alimentos son destruidos anualmente por la acción de ratas, insectos, predadores y hongos. En algunos países subdesarrollados esta pérdida alcanza al 40% de los alimentos que se almacenan.

Algunos de los pesticidas y herbicidas más conocidos son:



Estas sustancias han sido aplicadas a la lucha contra los mosquitos, mosca tsé-tsé, langostas y como herbicidas selectivos. A pesar de todo uno de los problemas asociados al uso de compuestos organoclorados es su impacto sobre el equilibrio ecológico. La destrucción sistemática de un tipo de insecto puede afectar la cadena alimentaria del sistema ecológico con la consecuencia que una peste es reemplazada por otra. El uso de compuestos organoclorados, como el DDT, para combatir los mosquitos portadores de la malaria, deja residuos

tóxicos en pájaros y peces. Aún aquellos compuestos que no dejan residuos tóxicos pueden ser peligrosos. El paraquat es un ejemplo; éste es una sal de dimetilbipiridinio del cual, por ejemplo, Tailandia importó en 1981  $4 \cdot 10^6$  kg para usarlo como herbicida en las plantaciones de caucho y en los arrozales. Luego se hallaron grandes cantidades de paraquat en ríos y otras fuentes de agua, constituyéndose en el mayor desastre ecológico provocado por el hombre. Millones de peces fueron envenenados y muertos siendo éstos la principal fuente de proteínas de la población rural tailandesa.

Existen aún otros peligros asociados al uso de pesticidas y herbicidas y a su mal manejo o empleo. En general las naciones subdesarrolladas son las que más sufren por esta causa. En 1972 estas naciones denunciaron la mitad de los 250000 casos de accidentes, que incluyen 6700 muertes, con herbicidas e insecticidas; mientras que en ese año sólo consumieron el 15% de la producción mundial. Los compuestos responsables de dichos accidentes incluyen al paraquat, DDT, PCP y aldrina. Compuestos como el DDT y la aldrina se continúan empleando masivamente en los países subdesarrollados mientras que en Europa y Estados Unidos han sido severamente restringidos. Los campesinos, que son los principales usuarios de estos compuestos, en general son analfabetos incapaces de leer las etiquetas y es común encontrar cómo los recipientes vacíos se usan para transportar agua y aún para cocinar los alimentos.

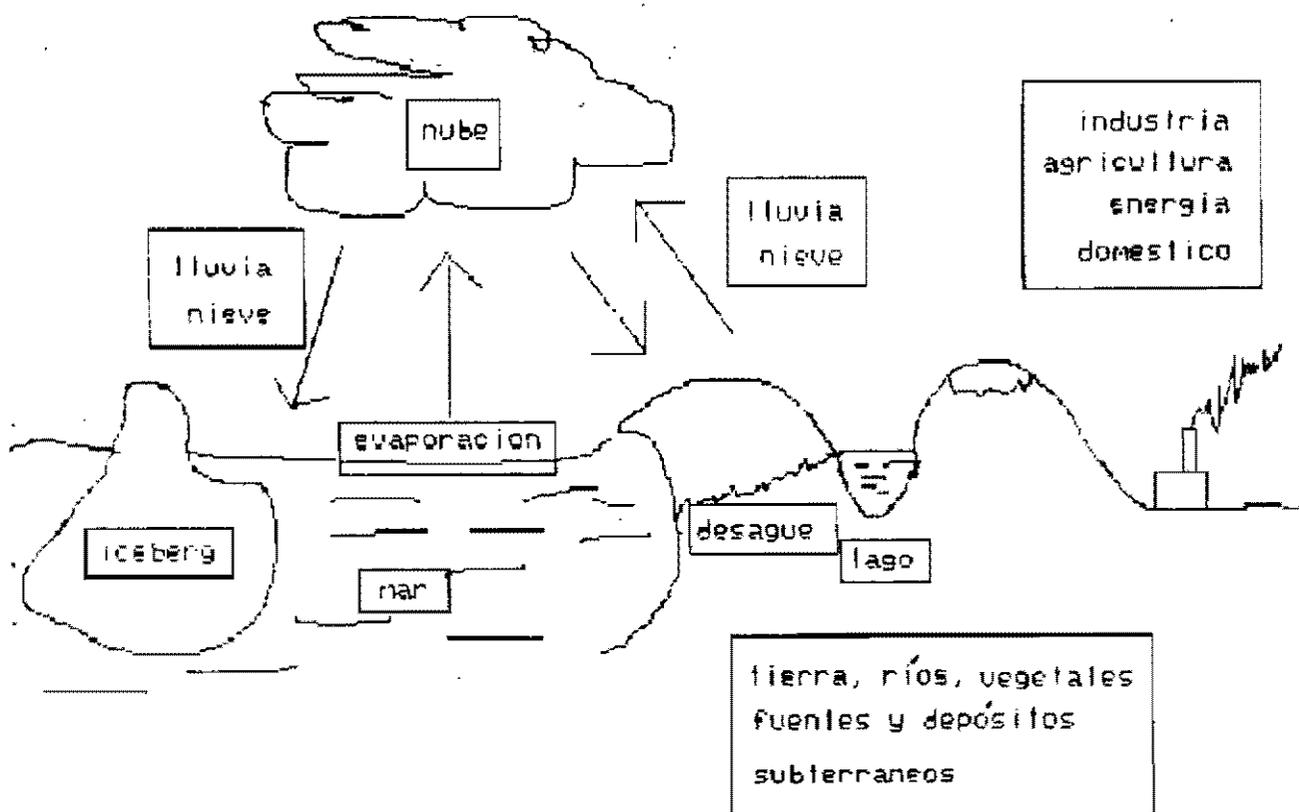
En 1976 alrededor del 30% de los pesticidas exportados por los Estados Unidos estaban prohibidos allí. En 1982 Kenia aún importaba aldrina para uso masivo aún sabiendo que esta sustancia es cancerígena y que causa daños fetales y desórdenes nerviosos.

### 3. Agua más limpia

#### 3.1 Fuentes y usos del agua:

De las aproximadamente  $10^{18}$  toneladas de agua del planeta solamente el 3% es pura y el 80% de ésta no está al alcance del hombre. Esto es debido a que se halla bloqueada en los glaciares y capas de hielo. El agua es accesible al hombre a través del ciclo hidrológico o ciclo del agua. Este ciclo se muestra de

manera esquemática en la figura que sigue.



El ciclo involucra unos 500000 km<sup>3</sup> de agua por año, de los cuales teóricamente el hombre puede acceder a un máximo de 40000 km<sup>3</sup> por año que es la cantidad de agua que desagua de la tierra al mar.

Precipitación	[km <sup>3</sup> ]	Evaporación	[km <sup>3</sup> ]
En el mar	390000	del mar	430000
En tierra	110000	de la tierra	70000
<b>TOTAL</b>	<b>500000</b>	<b>TOTAL</b>	<b>500000</b>

El uso del agua es a veces clasificado en: en curso o en corriente y de extracción. Alternativamente el agua puede clasificarse como consumida y no-consumida. El agua empleada en curso o no consumida abarca distintos tipos de aplicaciones entre las que figuran: navegación, generación hidroeléctrica y pesca.

El agua extraída o consumida, una vez utilizada, no está

disponible para su reutilización. Esta incluye el agua que es consumida y luego perdida por transpiración, agua incorporada a diferentes productos y agua descargada al océano. Aproximadamente 2500 a 3000 km<sup>3</sup> de agua son consumidos en el mundo por año, de los cuales 10% tiene uso doméstico, 8% industrial y el restante 82% se emplea en agricultura, para irrigación.

Del consumo doméstico aproximadamente el 10% se malgasta. En Europa el consumo estimado es de 230 l por persona por día.

Del consumo industrial el 85% se destina a enfriamiento, el resto es usado en lavado, transporte hidráulico y como solvente. Alrededor de 0.5 millones de litros de agua se requieren en la fabricación de un auto común de cuatro puertas. El agua utilizada en agricultura está dedicada al riego. Cultivar 1 tonelada de algodón requiere alrededor de 11000 m<sup>3</sup> de agua. Un zapallo común necesita 0.15 toneladas de agua para crecer y madurar.

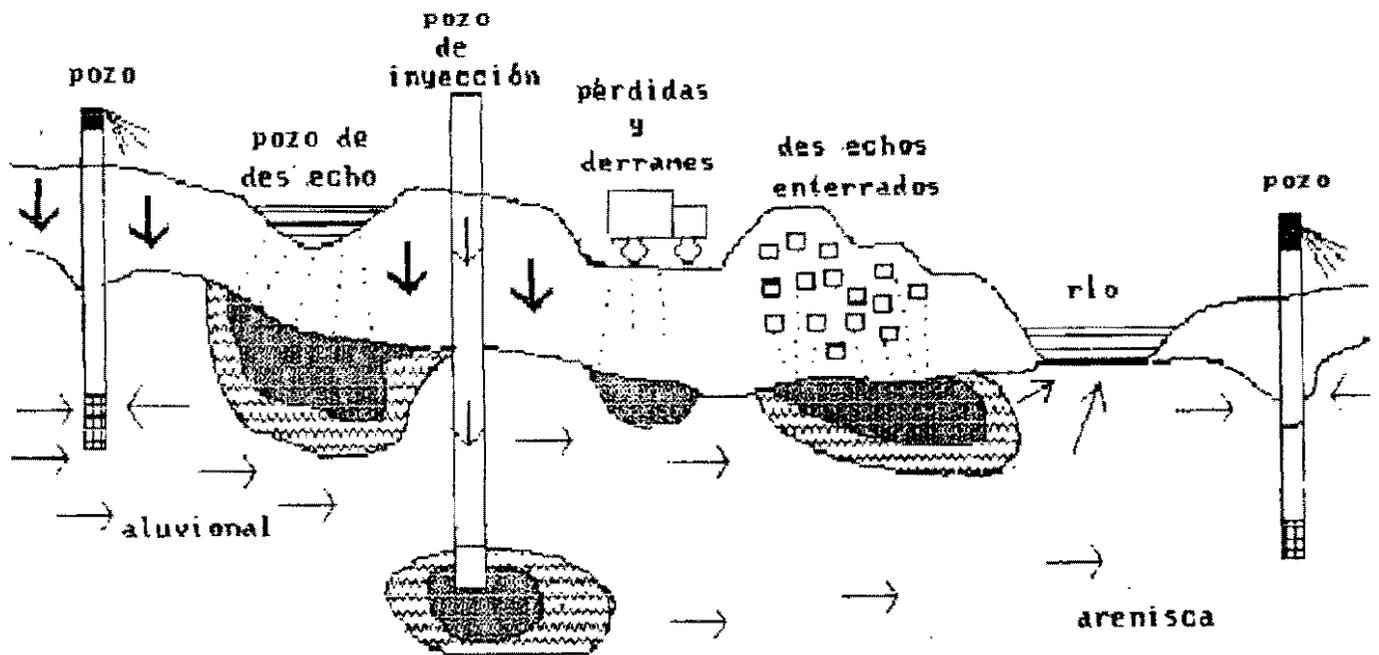
Hay algunos cálculos que muestran que para el siglo XXI la cantidad de agua en uso en el mundo excederá la cantidad disponible por desagüe de la tierra al mar. Para solucionar este problema se deben encontrar nuevas formas de almacenar y "atrapar" el agua.

Como conclusión extraemos que nuestras fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, son bienes preciosos que debemos proteger y no malgastar. La mayoría de nosotros considera como algo natural que, cuando queremos beber, ir a nadar o a pescar, los ríos, arroyos y acuíferos son seguros para el uso que deseamos darles. Todos nuestros esfuerzos para proteger de la contaminación a grandes masas de agua no han resultado tan satisfactorios como sería de esperar. A pesar de todo algunos éxitos indiscutibles se han logrado en algunas partes del mundo; por ejemplo el caso del río Támesis, el lago Erie, que había sufrido la muerte biológica por falta de oxígeno (eutroficación) inducida por fosfatos y otros nutrientes, está siendo recuperado lentamente.

Una mejora en los sistemas de purificación acoplada con una atención más rigurosa del destino de desechos peligrosos son la llave para avances futuros. Para identificar y

controlar las fuentes de polución debemos primero entender los mecanismos de transporte y conversión de contaminantes.

Existen evidencias indiscutibles que prueban que la migración subterránea de contaminantes es un problema serio y requiere atención especial para proteger los acuíferos subterráneos.



Un número importante de depósitos subterráneos (repositorios) fueron usados durante años con una contaminación del agua mínima. Los procedimientos en los que se basaban los controles presuponían la inamovilidad e inmutabilidad de los desechos. En realidad, con el tiempo los compuestos son oxidados, hidrolizados y descompuestos por la acción de microorganismos; transformándose en compuestos más peligrosos.

Los niveles de contaminación hallados recientemente indican que los cálculos originales estaban muy equivocados. Algunos compuestos han probado ser más estables y más móviles que lo esperado, al mismo tiempo otros compuestos fueron degradados por microorganismos con la particularidad que los productos finales son mucho más peligrosos que los originales.

Si el subsuelo del planeta debe ser usado como repositorio de los desechos debemos previamente comprender totalmente los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en este tipo de sistema. Se requieren para ello estudios de laboratorio y en el campo que examinen la migración de compuestos e iones a través de los estratos del subsuelo y además se deben desarrollar nuevas técnicas analíticas para detectar y seguir los contaminantes en su "viaje" por el subsuelo.

La calidad del agua subterránea puede ser mejorada desarrollando métodos mejorados para el tratamiento de aguas servidas incluyendo el tratamiento de aguas industriales. Los tratamientos convencionales se basan en una combinación de procesos químicos y biológicos. Este sistema es útil y efectivo para algunos tipos de contaminantes, mientras que para otros es necesario buscar otros procesos como: exposición al ozono (ozonización), oxidación en aire húmedo (oxidación en solución acuosa a temperatura y presión elevadas), incineración a altas temperaturas, uso de resinas intercambiadoras y adsorbentes selectivos.

Se requieren métodos innovadores para la recaptura y reciclado de valiosas sustancias, como metales, que de otra manera contribuirían a la polución. Se encuentran en estudio métodos tales como: extracción con solventes, intercambio iónico y ósmosis inversa.

La agricultura es fuertemente dependiente del uso de pesticidas y herbicidas lo que ha provocado la contaminación de fuentes de agua en vastas regiones del planeta. En consecuencia es necesario desarrollar pesticidas y herbicidas más seguros y que al ser degradados lo hagan en compuestos atóxicos.

Queda claro entonces, la responsabilidad que les cabe a los químicos en la búsqueda de una solución para este problema global.

### **3.2. Derrames de petróleo:**

La cuestión de los derrames de petróleo ha vuelto a ser noticia en los últimos meses como consecuencia de la guerra en el Golfo Pérsico. Pero el problema no es nuevo, una serie de accidentes con buques tanque, ocurridos una década atrás,

condujeron a generalizar la preocupación por el ambiente y a reforzar los controles y planes de emergencia. Ahora otra ola de accidentes y la guerra han puesto a prueba estos controles y la efectividad de los planes de emergencia elaborados.

Algunos de los más grandes accidentes con buques fueron: Torrey Canyon (1967), Amoco Cadiz (1978), Exxon Valdez (1989) en el cual murieron 34500 aves y 1100 millas de costa fueron afectadas. En este accidente y luego de gastar 1000 millones de dólares, solo se recuperaron 120 millas de costa.

### 3.2.1 ¿Cuál es el efecto del petróleo sobre el agua?

El petróleo daña la vida salvaje principalmente de tres maneras. Sus componentes tóxicos son muy volátiles y se liberan a la atmósfera mientras que el petróleo queda sobre el agua y la arena. A medida que las fracciones volátiles se liberan, el petróleo se hace más viscoso aumentando su acción bloqueante. Una capa, aún delgada, previene el paso de la luz, la transpiración de los vegetales, así como también interrumpe delicados mecanismos de respiración y alimentación de la mayoría de los invertebrados. El pelo de focas y plumas de aves cubiertas de petróleo causan una pérdida de aislación térmica y flotabilidad. La tercera forma en que el petróleo afecta la vida animal es causando irritación en los pulmones e intestinos, lo que es seguido de infecciones secundarias generalmente mortales.

Solamente en los Estados Unidos se han estimado unos 13000 derrames anuales de distinta magnitud. Hasta unas 12 Mt de petróleo entran al mar por año. En Inglaterra se estima que 1 Mt/año de aceite usado es arrojado a los desagües.

### 3.2.2 Métodos de limpieza:

El petróleo se descompone naturalmente con el tiempo, pero cuando se producen derrames que involucran cantidades importantes, el tratamiento debe ser inmediato.

En regiones remotas y poco pobladas se recomienda cubrir el petróleo con arena o tierra dado que un tratamiento químico produce graves daños a la vida animal y vegetal.

Existen tres métodos de limpieza a saber:

- i. Uso de dispersantes.
- ii. Quemado.

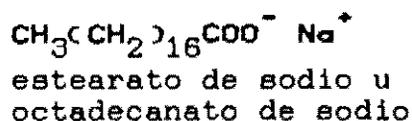
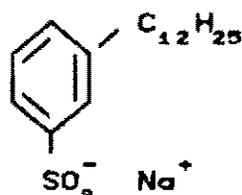
### iii. Recuperación mecánica.

Los dispersantes actúan disminuyendo la tensión superficial del petróleo permitiendo que las olas lo disuelvan. Hay varios problemas relacionados con el uso de este tipo de sustancias dispersantes; no solamente pueden ser sustancias tóxicas sino que sus propiedades surfactantes impiden algunas funciones de intercambio a nivel de los tejidos de plantas y animales. Una vez que el detergente ha sido agregado al petróleo éste penetra en la tierra afectando a los animales de habitat subterráneo y hacen más difícil cualquier tratamiento posterior.

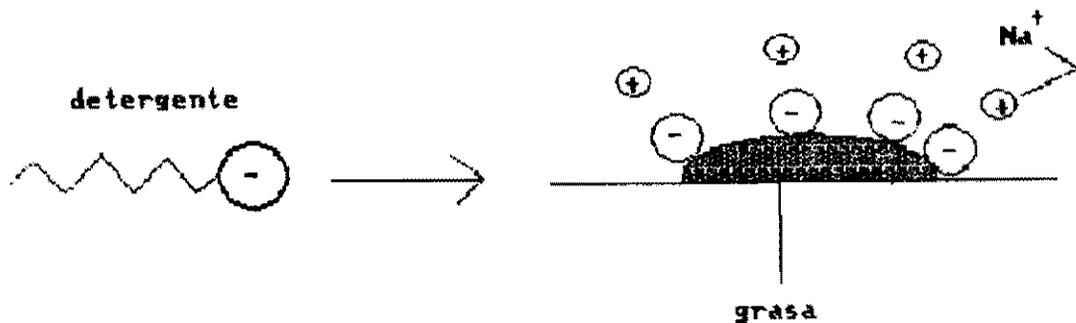
El quemado del petróleo permite su rápida eliminación pero se deben tener en cuenta la influencia de este tratamiento sobre el clima y que el humo producido puede causar irritación de ojos y garganta.

La recuperación mecánica es el método preferido pues no hay riesgo de producir más contaminación. El equipo de recuperación mecánica incluye: barreras flotantes, coladores y barredoras especiales.

Algunos detergentes, como por ejemplo:



contienen un 20% de compuestos orgánicos y el 30% de fosfatos para remover los iones calcio. El fosfato tiene la particularidad de alimentar a plantas acuáticas verdes que producen la eutroficación. En la figura que sigue se muestra la manera en que actúan los detergentes para disolver las grasas y aceites.



#### 4. Calidad de la atmósfera: Un problema de creciente gravedad

La atmósfera terrestre es un benevolente océano de aire compartido por toda la humanidad. Los 15 km inferiores de ella, la troposfera, toca la Tierra y la vida que se desarrolla sobre ella. La troposfera contiene el oxígeno, la lluvia y el dióxido de carbono necesarios para nuestra provisión de alimentos. Muchos de nuestros productos de deshecho son "reciclados" en la atmósfera. Hasta la temperatura del aire que nos rodea está en gran medida controlada por los gases presentes en la troposfera.

En las dos últimas centurias, la actividad del hombre ha alterado la compleja mezcla de gases más rápido que en cualquier otro período de la historia humana. Ya hemos observado algunos de los efectos producidos: smog, corrosión de materiales, disminución de la capa de ozono estratosférico y lluvia ácida.

¿Qué sorpresas desagradables, que afectarán al planeta entero y al hombre, nos esperan?

Este es el momento de investigar y comprender los cambios producidos por nuestra propia actividad. Debemos recolectar suficiente información, desarrollar técnicas apropiadas y preparar científicos que elaboren un modelo global y preciso de nuestro planeta. Todos debemos comprometernos y confiar en lograr el conocimiento humano de los procesos que gobiernan a los parámetros atmosféricos, reacciones e interacciones. Debemos aprender a ser custodios de la atmósfera para las generaciones futuras.

La atmósfera siempre ha estado cambiando tanto su composición, temperatura y aún su capacidad de autodepuración. Algunas fuentes naturales como los volcanes, que agregan pequeñas cantidades de gases conteniendo azufre y cloro fueron los factores más importantes que generaron cambios atmosféricos hasta la Revolución Industrial.

Las actividades humanas tales como el quemado de combustibles fósiles y biomasa, algunas prácticas industriales y agrícolas y la deforestación han agregado cambios adicionales o han acelerado dichos cambios.

Excluyendo el vapor de agua, los efectos observados no

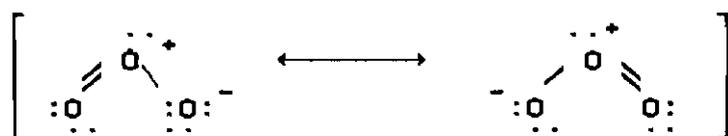
proviene de cambios en los componentes mayoritarios de la atmósfera. De hecho, el 99.9% de la atmósfera es prácticamente constante. Los culpables de los problemas son los constituyentes minoritarios o trazas de ciertos gases. El dióxido de azufre, que como máximo llega a tener una concentración de 50 ppb, contribuye a generar la lluvia ácida; corrosión de materiales y a disminuir la visibilidad. Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) producen la lluvia ácida y el smog fotoquímico. Los compuestos clorofluorocarbonados, con una concentración de 1 ppb, contribuyen a disminuir la capa de ozono y que conjuntamente con el metano, óxido nitroso y el dióxido de carbono, posibilitan el aumento global de la temperatura y un cambio climático mayor a través del efecto invernadero. De estos gases el más abundante es el dióxido de carbono con 350 ppm mientras que la concentración del constituyente más activo de la atmósfera, el radical oxidrilo, es solamente  $10^{-5}$  ppb.

#### 4.1 El ozono en la estratosfera:

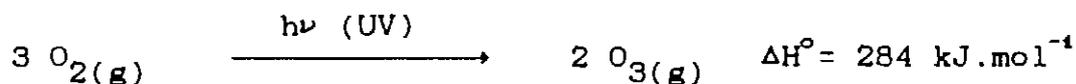
##### 4.1.1 Origen y estructura del ozono:

El ozono o trioxígeno es una variedad alotrópica del oxígeno. Es un gas de color azul pálido poco soluble en agua. En pequeñas concentraciones no es tóxico pero en cantidades mayores que 100 ppm lo es.

El ozono está constituido por tres átomos de oxígeno y su molécula es un híbrido de resonancia:

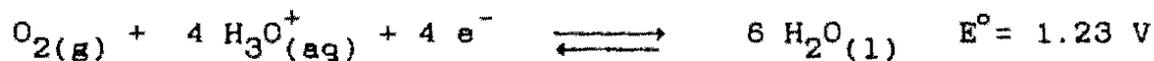
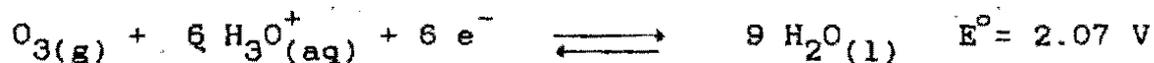


El ozono se produce en la estratosfera como resultado de la acción de la radiación ultra - violeta (UV) del Sol sobre las moléculas de oxígeno:



La reacción es endotérmica y la molécula muy inestable. En concentraciones elevadas es explosivo y su poder oxidante es

mucho mayor que el del oxígeno tal como lo muestran sus potenciales de reducción:



#### 4.1.2 Destrucción del ozono:

La posibilidad de contaminar la estratosfera hasta el punto de remover parcialmente la capa protectora de ozono fue anunciada hace una docena de años por Rowlinson y Molina. Este enunciado, que parecía improbable, fue ganando sustento científico y se ha transformado en uno de los mejores ejemplos de peligros ambientales de alcances globales. Este problema resalta el papel central que debe jugar la química en su comprensión, análisis y solución.

¿Porqué debemos preocuparnos de la química estratosférica?

El ozono en la estratosfera es el filtro natural que absorbe y bloquea la radiación UV del Sol que es dañina para la vida.

La estratosfera es una región sin nubes, seca y fría ubicada entre los 10 y 50 km de altura; contiene aire que se mezcla muy lentamente en sentido vertical y muy rápidamente en sentido horizontal. En consecuencia, una vez que los contaminantes son introducidos en esta región no solamente permanecen varios años, sino que además se distribuyen rápidamente sobre todo el planeta. Una gran reducción del escudo de ozono resultará en un aumento de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra.

Para comprender cuán fácilmente se puede alterar la capa de ozono es útil recordar que este gas es un componente escaso de la estratosfera; en su máxima concentración llega a una pocas ppm. Si toda la capa de ozono fuera concentrada en una banda de ozono puro que rodeara la Tierra, a presión atmosférica, su espesor sería de unos 3 mm. Más aún, los mecanismos de destrucción del ozono están basados en reacciones en cadena en las cuales una sola molécula de contaminante puede destruir miles de moléculas de ozono antes de ser eliminada de la

estratosfera y removida de la atmósfera por la lluvia.

Nuevamente, al intentar dilucidar los mecanismos que destruyen el ozono, se pone de manifiesto el rol crucial de la química en la comprensión de este problema.

Cincuenta años atrás la formación de una capa de ozono en la estratosfera fue descrita crudamente en términos de cuatro reacciones químicas y fotoquímicas que involucraban especies de oxígeno puras ( $O$ ,  $O_2$  y  $O_3$ ). Actualmente se conoce que es necesario conocer las velocidades de al menos 150 reacciones para aproximarse a un modelo preciso que describa la estratosfera y permita predecir los cambios que se producirán por la introducción de ciertos contaminantes.

El proceso químico comienza con la absorción de radiación UV del Sol por moléculas de oxígeno en la estratosfera. Se produce la ruptura del enlace y se forman por reacción ozono y átomos de oxígeno:



En el caso de haber óxido nítrico (NO) en la estratosfera se produce una reacción en cadena de gran importancia. El conjunto de reacciones que representan el proceso es el siguiente:



y la reacción neta es:



Las reacciones a y b constituyen un verdadero ciclo catalítico en el cual las moléculas de NO y  $NO_2$  son los catalizadores. Cada ciclo produce la destrucción de una molécula de ozono y un átomo de oxígeno tal como pone de manifiesto la reacción total.

Actualmente se considera que éste es el mecanismo más importante para la destrucción del ozono en la estratosfera. En la atmósfera natural, los óxidos de nitrógeno son provistos por la actividad biológica que libera óxido nitroso ( $N_2O$ ) en la superficie terrestre y por la acción de bacterias presentes en

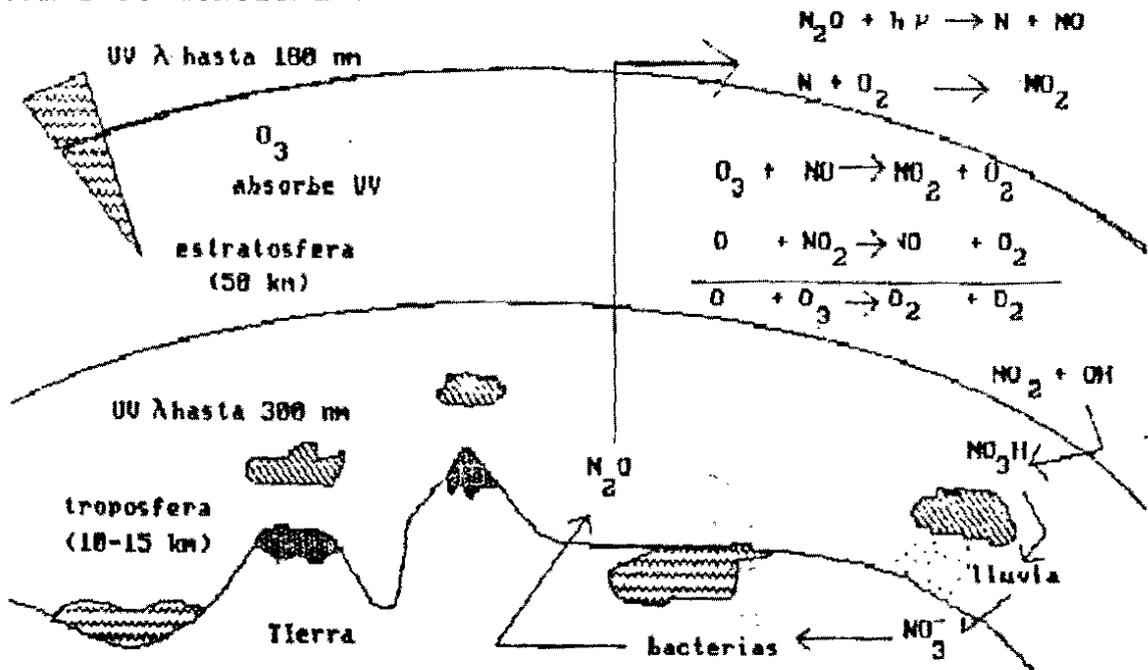
el agua del mar. Esta molécula relativamente inerte se mezcla lentamente en la estratosfera donde absorbe radiación UV y reacciona para formar óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Este proceso se puede esquematizar de la siguiente manera:



También se producen óxidos de nitrógeno por efecto de descargas eléctricas atmosféricas. Si se introducen en la estratosfera óxidos de nitrógeno tendrán el mismo efecto destructor sobre el ozono.

El problema fue inicialmente intuido cuando comenzaron los vuelos supersónicos a grandes alturas, donde los motores de estos aviones producen grandes cantidades de óxidos de nitrógeno. Las explosiones nucleares también producen óxidos de nitrógeno los que son rápidamente elevados a la estratosfera. La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos comprobó, en 1975, la disminución de la capa de ozono como consecuencia de una explosión nuclear. El problema merece nuestra atención a pesar de ser insignificante frente a otro mal mayor llamado "invierno nuclear". Ambos efectos ponen de manifiesto lo delicada que es nuestra atmósfera y su sensibilidad a las transformaciones químicas.

En la figura se esquematizan algunas de las reacciones que acabamos de mencionar.

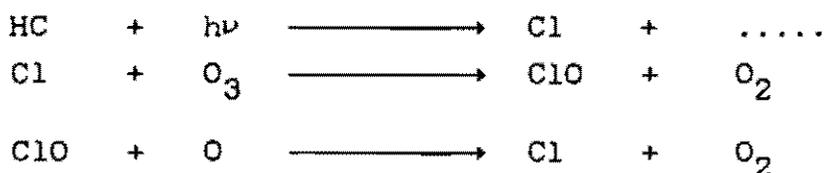


#### 4.1.3 Compuestos halocarbonados:

En 1974, justo cuando se comenzaba el estudio del efecto de los óxidos de nitrógeno, se adquirió conciencia sobre otro contaminante atmosférico producido por el hombre.

Los compuestos halocarbonados tales como el  $\text{CFCl}_3$  y  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  (clorofluorometanos o CFM) se habían convertido en propelentes de spray y fluidos refrigerantes muy populares; principalmente por su inercia química. Esta inercia química significaba ausencia de toxicidad y de cualquier otro efecto dañino para los seres vivos. Irónicamente esto no significa otra cosa que, el único lugar donde van estos compuestos es hacia arriba, y al llegar a la estratosfera es posible que ocurra la fotólisis por efecto de la radiación UV. Más tarde los químicos se dieron cuenta que, si la fotólisis ocurre, las especies resultantes, Cl y ClO, entrarían en un ciclo catalítico propio destruyendo la capa de ozono tal como lo hacen los óxidos de nitrógeno. Inmediatamente que se reconoció este peligro, comenzó el verdadero estudio de la química del ozono estratosférico. Un estudio realizado por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos arrojó como resultado que, la adición de estos dos compuestos generaba alrededor de cuarenta (40) reacciones nuevas involucrando especies tales como: Cl, ClO, HCl, HOCl, ClONO<sub>2</sub>, compuestos halocarbonados y muchos otros.

Muchas de las reacciones y especies mencionadas nunca habían sido estudiadas en el laboratorio. Fueron Stolarsky y Cicerone quiénes en 1974 ponen de manifiesto que los óxidos clorados tienen un comportamiento similar a los óxidos de nitrógeno. En ese mismo año Rowland y Molina estudian la fotodisociación de los compuestos halocarbonados y comprueban la existencia de un ciclo catalítico en el que se destruye el ozono:



donde HC es un compuesto halocarbonado.

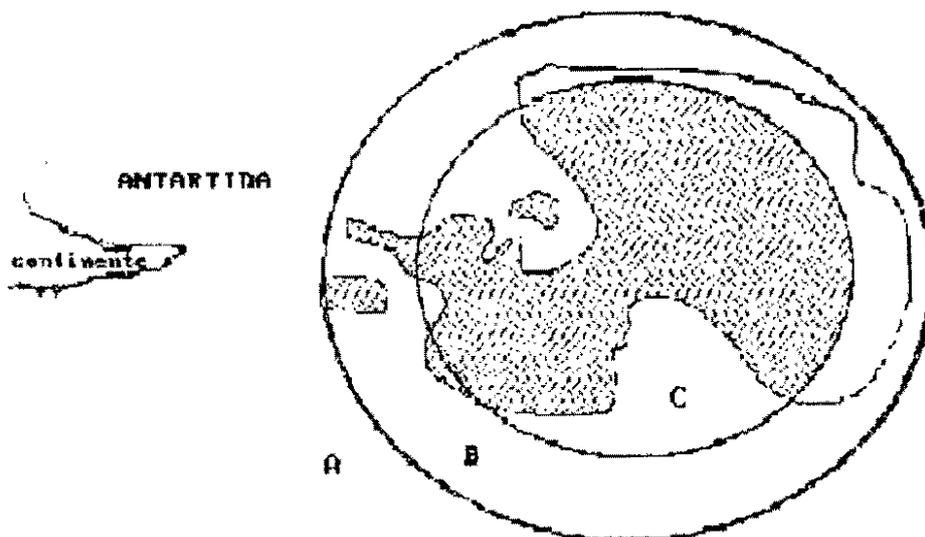
Este ciclo es unas 100 veces más rápido que el de los óxidos de

nitrógeno.

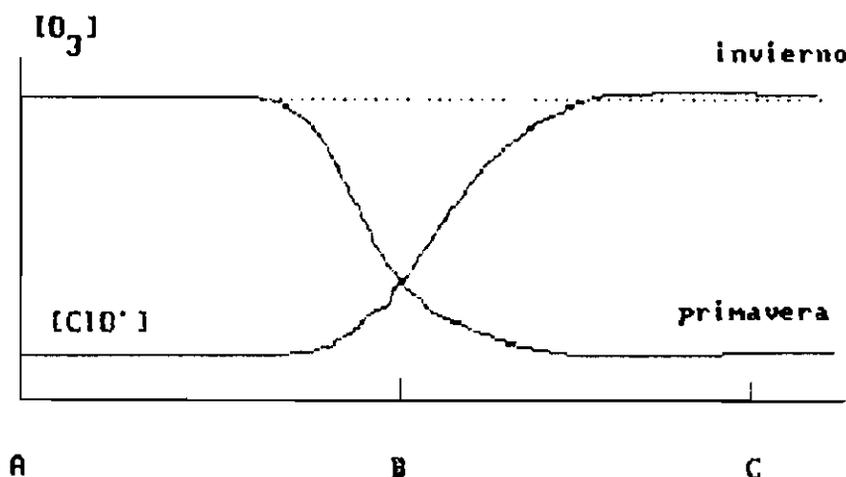
Estudios posteriores demuestran que la cinética de la etapa limitante del ciclo propuesto por Rowland y Molina explica perfectamente la velocidad observada de destrucción del ozono en la atmósfera.

Los químicos respondieron al desafío planteado y estudiaron en el laboratorio estas reacciones clarificando la fotoquímica de los compuestos potencialmente dañinos ayudados por la panoplia de nuevos instrumentos de medida. Los progresos recientes son enormes, prácticamente es posible generar en el laboratorio cualquiera de estas especies reactivas y determinar las velocidades a las que ocurren estas reacciones tremendamente rápidas. Estas determinaciones, que eran una utopía una década atrás, ahora son una realidad.

Finalmente, determinaciones realizadas en la misma estratosfera han sido revolucionadas por los recientes avances de las técnicas analíticas. Por ejemplo, la NASA posee una modificación del avión espía U2, el ER2 (Earth Resources 2) capaz de muestrear y analizar el aire en la estratosfera. Este avión vuela regularmente desde Punta Arenas (Chile) hasta el Polo Sur, y entre otras determinaciones mide la concentración de radicales cloro-oxigenados ( $ClO^{\bullet}$ ). Esta determinación se realiza en forma continua durante todo el vuelo. Esto permite evaluar las dimensiones del famoso "agujero de ozono" localizado sobre la Antártida.



En la figura se observan los perfiles de concentración de ozono y del radical  $\text{ClO}^\bullet$  en las distintas zonas indicadas en el mapa.



Mucho se ha hecho en lo que respecta a la evaluación del problema y su análisis cuali y cuantitativo, pero aún queda más por hacer, por ejemplo aún no se han determinado las concentraciones de  $\text{ClOH}$  y  $\text{ClONO}_2$  en la estratosfera. Mayor precisión en la determinación de algunas velocidades de reacción es aún requerida para cuantificar la distribución de determinados productos. De todos modos, con la información hoy disponible es posible comenzar a legislar sobre el tema para que en el futuro la calidad de nuestra atmósfera sea mejor que la actual, o al menos evitar que continúe su deterioro.

#### 4.2 Lluvia ácida:

La lluvia normalmente es ácida. El término lluvia ácida se aplica al caso en que la precipitación pluvial tenga un pH menor que 5.6. Este es el problema más obvio al que nos enfrentamos hoy, derivado de la contaminación del aire.

Sustancias ácidas y compuestos que pueden producirlos se forman cuando se queman combustibles fósiles para producir energía y brindar transporte. Estas sustancias son principalmente derivados de los óxidos de azufre y nitrógeno, los que se combinan en la atmósfera con oxígeno y agua para

producir los ácidos sulfúrico y nítrico. Estos ácidos son arrastrados por la lluvia hasta el suelo, algunas veces a cientos de kilómetros del lugar en que ingresaron a la atmósfera. Existen también fuentes naturales de este tipo de compuestos, entre las que podemos citar: relámpagos, volcanes, biomasa y actividad microbiana. De todos modos, excepto los volcanes, estas fuentes son despreciables frente a las creadas por el hombre.

Los efectos de la lluvia ácida son más evidentes y han sido más publicitados en Europa y en los Estados Unidos; aunque otras áreas como Canadá y China, son consideradas de alto riesgo. En algunos sitios se han registrado lluvias ácidas con un pH igual al del vinagre ( $\text{pH} \approx 4$ ). La extensión de los daños provocados es aún fuente de controversia. Daños a la vida acuática en lagos y ríos, fueron el toque de alarma respecto a este problema; pero ya se han comprobado sus efectos en edificios, puentes y equipos que operan a la intemperie.

El daño mayor es producido en lagos con pH escasamente controlado naturalmente. Cuando reguladores alcalinos naturales se hallan presentes, los compuestos ácidos arrastrados por la lluvia pueden ser neutralizados sin mayores problemas. Sin embargo, los lagos cuyo fondo está constituido por roca granítica, que es acídica, son susceptibles de sufrir daño inmediato puesto que la disminución del pH provoca la disolución de iones metálicos muy tóxicos (Cd, Hg, Al y Mn) que en condiciones normales no lo harían. Esto provoca la reducción de la población vegetal y de algas y en algunos casos, la disminución y/o eliminación de los peces. El daño a los bosques varía desde la destrucción del follaje hasta la aniquilación de especies de raíces débiles.

Tanto el dióxido de azufre como el dióxido de nitrógeno pueden ser removidos de los desechos industriales mediante el tratamiento con agua de los gases producidos, el uso de catalizadores en los automóviles, etc.

Las diferentes formas de evitar la lluvia ácida significan inversiones anuales del orden de varios billones de dólares. Este proceso involucra la precipitación húmeda (lluvia y nieve) y la precipitación seca (las sustancias ácidas se esparcen como

aerosoles y llegan al suelo, aguas, plantas, etc.).

Todo lo que termina "cayendo" de la atmósfera generalmente ha entrado a ello bajo una forma química totalmente diferente. Por ejemplo, el azufre contenido en el carbón es oxidado a dióxido de azufre al quemar el carbón y bajo esta forma es liberado a la atmósfera en el humo de las chimeneas. A medida que se mueve en la atmósfera es lentamente oxidado a trióxido de azufre y reacciona con el agua para formar ácido sulfúrico, que es la forma bajo la que se deposita a gran distancia.

Para atacar este problema, en 1984, la Comunidad Económica Europea recomendó una reducción del 60% en las emisiones de  $\text{SO}_2$  y del 40% de los óxidos de nitrógeno para el año 1995.

#### 4.3 Oxidos de nitrógeno:

Los caminos por los cuales los óxidos de nitrógeno son formados, reaccionan y eventualmente son removidos de la atmósfera, son muy complejos.

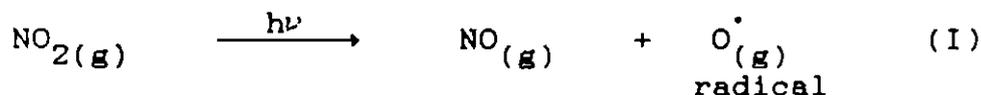
Los óxidos de nitrógeno pertenecen a los denominados contaminantes primarios de la atmósfera. Estos son emitidos durante la combustión de combustibles fósiles. Plantas generadoras de energía, refinerías de petróleo, fábricas y los escapes de los automóviles contribuyen con este tipo de contaminantes.

Los óxidos de nitrógeno, en general representados con la fórmula general  $\text{N}_x\text{O}_y$ , pueden contaminar de dos maneras. Primero pueden disolverse en agua para formar ácido nitroso y/o nítrico. Estos últimos se conocen como contaminantes secundarios junto con los derivados del azufre. La segunda manera en que producen contaminación es conocida como smog fotoquímico.

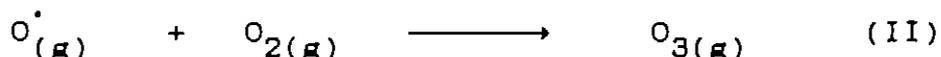
La molécula de nitrógeno es muy estable, pero si se encuentra en presencia de oxígeno a alta temperatura reacciona para formar toda una gama de óxidos ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  y  $\text{N}_2\text{O}_3$ ). El  $\text{NO}_2$  reacciona con el agua para producir ácido nítrico (lluvia ácida). Estimados cuantitativos del balance global para estos óxidos son aún muy inciertos y falta realizar mucho trabajo para adquirir el conocimiento necesario para obtenerlo.

En principio el smog fotoquímico es producto de una serie muy compleja de reacciones que involucran radicales. El primer

paso requiere la acción de luz UV proveniente del Sol la que produce la siguiente reacción química:



El radical oxígeno reacciona con moléculas de oxígeno para producir ozono:



El ozono, a pesar de su efecto protector de la radiación UV, es tóxico para animales y plantas y es considerado un contaminante secundario. Si en la atmósfera no hay hidrocarburos presentes, el ozono se combina con el monóxido de nitrógeno y regenera el dióxido y oxígeno:



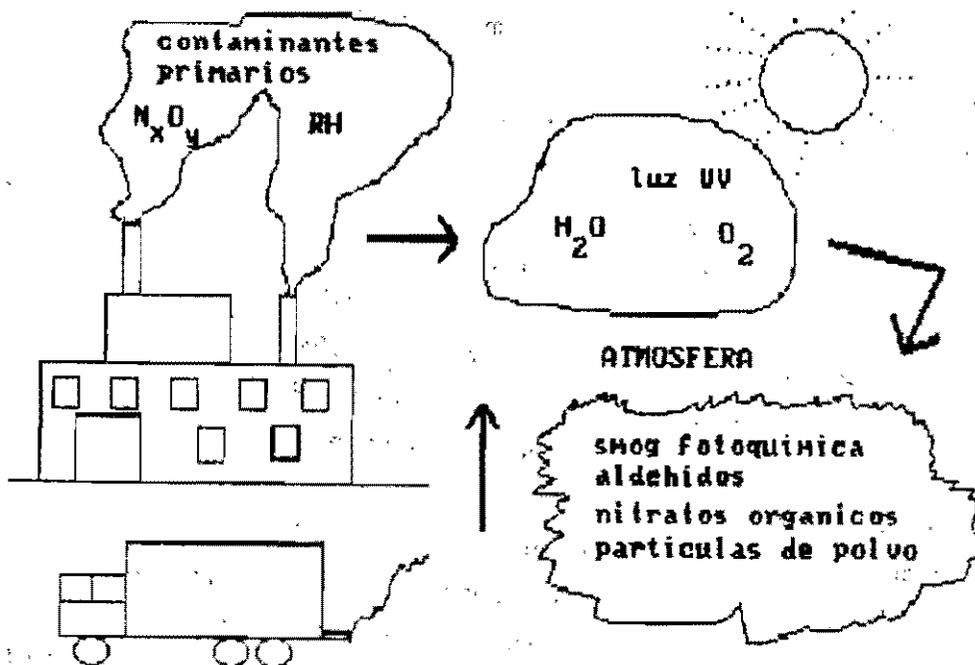
El  $\text{NO}_2$  es, por lo tanto, mantenido en lo que se denomina un ciclo cerrado (reacciones I, II y III). Cuando hay hidrocarburos en la atmósfera el ciclo es interrumpido. El ozono, que es parte del ciclo, reacciona con hidrocarburos no saturados para producir radicales orgánicos tales como:



Estos radicales se combinan con los óxidos de nitrógeno para producir aldehídos y nitratos orgánicos del tipo:



Estos, junto con el ozono, son los contaminantes secundarios que forman el smog fotoquímico. En la figura se esquematizan los procesos involucrados:



En muchas ciudades del problema está también relacionado con la formación de una capa de inversión en la atmósfera. Esta es una capa de aire tibio que se ubica sobre la ciudad y atrapa una capa de aire más frío. Esta capa de aire tibio generalmente es seca y permite que el máximo posible de luz solar la atraviese. Los contaminantes secundarios son atrapados en la capa inferior resultando su acumulación en la misma. Esta capa de smog fotoquímico tiene, a veces, el aspecto de niebla debido a la presencia de partículas sólidas en suspensión.

#### 4.4 El efecto invernadero:

La teoría del efecto invernadero no es nueva, J.B. Fourier escribió sobre ella hace unos 160 años, pero no fue sino hasta hace poco tiempo que se convirtió en un término común aunque no sea bien comprendido.

La mayor fuente de radiación que llega a la Tierra proviene del Sol. Del total de energía recibida un 30% es reflejada al espacio por las nubes, moléculas que se encuentran en la atmósfera, partículas sólidas y todo lo que hay sobre la superficie terrestre. Del 70% restante aproximadamente el 20% es absorbido por la atmósfera. Esto significa que alrededor de la mitad de la radiación es absorbida por la tierra y los océanos.

La radiación observada entrega su energía a cualquier cosa que la absorba, causando un aumento de temperatura. Dado que la radiación solar incide sobre la Tierra durante las 24 horas del día, la temperatura del planeta debería ir en continuo aumento. Obviamente esto último no ocurre. La primera razón es que la Tierra también emite radiación como cualquier objeto cuya temperatura está por encima del cero absoluto (0 K), pero la radiación emitida tiene una distribución espectral muy diferente a la del Sol.

La Tierra emite la mayor parte de la energía como radiación infra-roja (IR), cuya longitud de onda está comprendida entre 5 y los 12.5  $\mu$ . Algunos de los componentes minoritarios de la atmósfera, principalmente el ozono, agua y dióxido de carbono, absorben radiación en esta zona del espectro. Por lo tanto algo de la energía emitida por la Tierra se emplea en aumentar la temperatura de la atmósfera.

Si estas moléculas, que absorben en el IR, no estuvieran presentes en la baja atmósfera, la temperatura de la superficie terrestre debería ser considerablemente más baja de lo que es actualmente. De hecho, se ha estimado que el efecto invernadero es responsable de un aumento promedio de temperatura de aproximadamente 45°C en las proximidades de la superficie terrestre. Algunas de las consecuencias se hacen corrientemente evidentes durante la noche cuando la superficie del planeta, que ha sido calentada durante el día, irradia sin recibir energía del Sol. Un resultado es que la presencia de nubes previenen frecuentemente un enfriamiento apreciable de la atmósfera porque el calor es absorbido por las moléculas de agua. Por otra parte, en ausencia de nubes hay un mayor descenso de la temperatura. Un ejemplo extremo de esta situación se da en los desiertos donde la atmósfera es muy seca, resultando días muy calurosos y noches muy frías. El caso más extremo se presenta si no hubiera atmósfera, como en la Luna.

Por otra parte, si toda la radiación IR emitida por la Tierra fuera absorbida por la atmósfera, la temperatura terrestre aumentaría de manera catastrófica, tal como ocurre en Venus cuya atmósfera está constituida básicamente por dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es conocido como uno de los gases de invernadero, más adelante mencionaremos otros y los discutiremos.

No siempre se aprecia que, si bien la atmósfera es tenue también tiene un gran espesor. Si se la comprimiera en una capa, cuya densidad fuera igual a la del agua, tendría una altura de 10 metros. La atmósfera está llena de gases que absorben radiación y que tienen influencia significativa sobre la temperatura planetaria.

Volviendo al efecto invernadero, podemos señalar que existe mucha controversia aún con el nombre. En general el término efecto invernadero se emplea para describir el aumento de temperatura causado por el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Los invernaderos deben su temperatura a esta causa pero hay otras variables a considerar; por ejemplo, el vidrio que cubre el invernadero absorbe radiación del suelo y está más caliente de lo que debiera. También influyen el espesor del vidrio y la protección contra el viento que minimiza la transferencia de calor por convección.

Hay un concepto erróneo que es muy difícil de erradicar y es la creencia de que la radiación solar calienta directamente el aire que nos rodea. Si bien esto es parcialmente cierto, es mucho más importante la cantidad de energía absorbida por el suelo que a su vez calienta el aire en contacto con él (calentamiento indirecto).

Por otro lado, el suelo emite radiación noche y día como lo hace cualquier cuerpo. Una parte de esta radiación es absorbida por la atmósfera pero cuanto más caliente esté el aire, más radiación emite al suelo. El grado en que la atmósfera absorbe radiación es de gran importancia para determinar la temperatura del suelo.

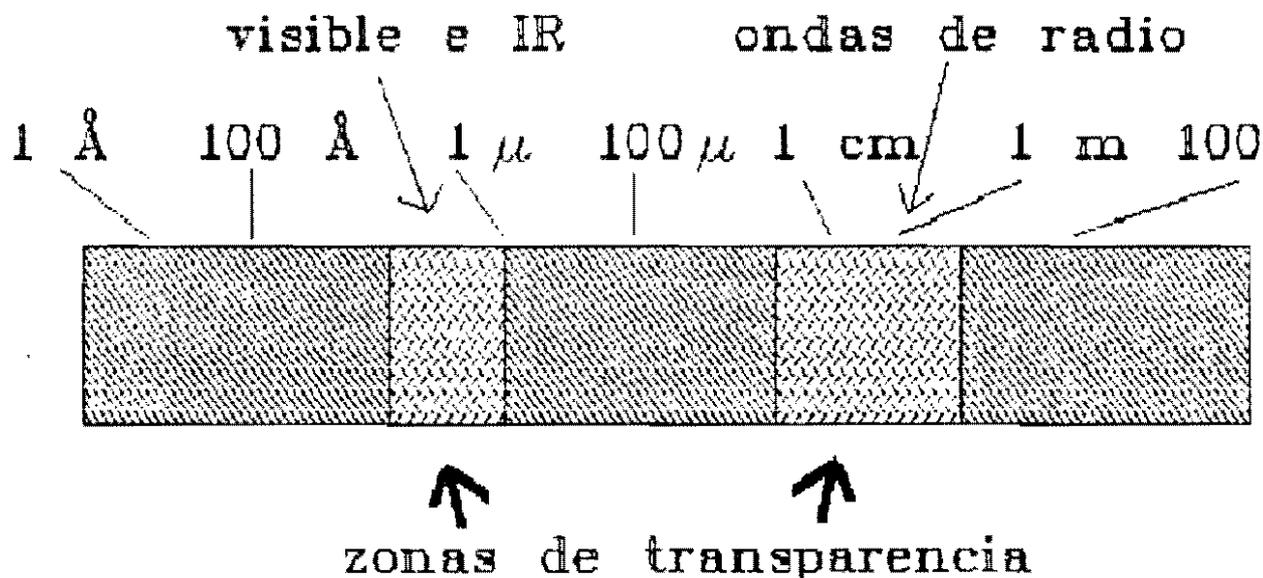
La radiación devuelta por la Tierra al espacio juega un papel fundamental en el balance energético del planeta. Si suponemos que la Tierra se comporta como un cuerpo negro, el espectro electromagnético del planeta tomado desde el espacio indicaría que la temperatura en la superficie sería de unos  $-18^{\circ}\text{C}$  (255 K). Si la atmósfera no retuviera parte de la energía ésta sería la temperatura que tendríamos y no el valor promedio

de  $15^{\circ}\text{C}$  ( $288\text{ K}$ ) que en realidad experimentamos. A esta temperatura la Tierra debería emitir en su superficie unos  $390\text{ W.m}^{-2}$ . Las medidas realizadas por satélites artificiales han determinado que sólo escapan al espacio unos  $237\text{ W.m}^{-2}$ . La energía atrapada por la atmósfera es entonces la diferencia, unos  $153\text{ W.m}^{-2}$ . Esta diferencia es atribuida al efecto invernadero.

En consecuencia concluimos que, si bien, sin el efecto invernadero no existiría la vida en nuestro planeta tal y como la conocemos, este mismo efecto puede llevar a la destrucción de no solamente nuestra civilización sino de toda la vida del planeta.

Para comprender mejor el efecto invernadero debemos analizar con un poco más de atención la influencia que ejerce la atmósfera sobre el ingreso y egreso de radiación al planeta.

La atmósfera absorbe la radiación solar en un amplio rango de longitudes de onda pero en principio podemos definir dos zonas del espectro en que ésta es transparente. Desde las longitudes de onda más cortas hasta unos  $0.3\ \mu$  (UV cercano) la atmósfera absorbe toda la radiación; en la zona del IR cercano ( $0.3\ \mu$  a  $1\ \mu$ ) es transparente; entre  $1$  y  $24\ \mu$  (IR) hay algunas regiones estrechas donde la atmósfera es transparente, pero estas zonas están

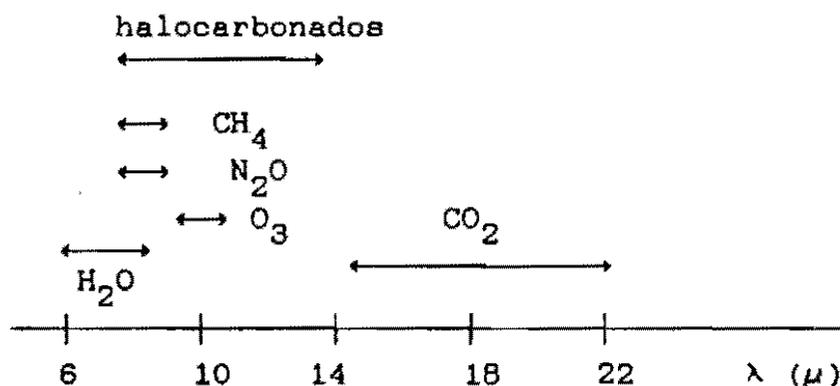


restringidas por la presencia de gases como el dióxido de

carbono y el agua. En la zona de 24 a 300  $\mu$  la atmósfera nuevamente absorbe toda la radiación. Esta zona es seguida por la región de radio - frecuencias (15 a 30 m). Los límites de esta zona dependen fuertemente de las condiciones, muy cambiantes por cierto, de la ionosfera. Finalmente, para longitudes de onda mayores que 30 m la radiación es reflejada totalmente por la ionosfera. Toda la radiación absorbida por la atmósfera es convertida en calor y eventualmente sirve para el calentamiento de la misma.

Con respecto a la radiación emitida por la Tierra ésta se concentra en la región de 8.5 a 12.5  $\mu$ . Si esta zona de emisión es bloqueada por la incorporación de sustancias que absorben esta radiación, más y más radiación solar quedará atrapada en el sistema terrestre con el consiguiente aumento de temperatura. Es éste aumento de temperatura y las sustancias que lo provocan lo que más debe preocuparnos.

Al comienzo mencionamos la existencia de otros gases que provocaban el efecto invernadero además del dióxido de carbono. Ellos son el agua,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$  y compuestos halocarbonados. El monóxido de carbono no es considerado importante por su escasa capacidad de absorber en el IR, pero como reacciona con otras moléculas debe ser tenido en cuenta por lo que nos ocuparemos de él más adelante.



En la figura se indican los principales gases presentes en la atmósfera, que absorben en la zona donde la Tierra emite su radiación. Como ve os esta "ventana" se ha reducido con lo cual más radiación IR es absorbida por la atmósfera con el respectivo aumento global de la temperatura.

Lo importante es conocer cuáles y en qué cantidad, de estos

gases son de origen natural y cuáles y en qué cantidad son de origen antropogénicos (originados por el hombre).

En el caso de CO es bastante simple discriminar las fuentes naturales de las antropogénicas excepto cuando se considera la oxidación atmosférica del metano, dado que este gas proviene de ambas fuentes. Tanto el metano como los hidrocarburos son oxidados por radicales oxhidrilo, de los que nos ocuparemos luego.

Los datos que utilizaremos a continuación son difíciles de manejar debido a las incertezas existentes. De todas maneras los emplearemos para ilustrar dos aspectos fundamentales. Primero que es muy difícil estimar cifras de emisión globales y que los resultados están sujetos a un gran error. Y en segundo lugar que dichos datos dependen mucho de la actividad humana y del clima en un año dado. A pesar de todo, lamentablemente éstos son los únicos datos disponibles y debemos usarlos para realizar las predicciones necesarias para tomar decisiones.

Otros factores a tener en cuenta, además del espectro de absorción de cada gas, son: concentración, vida media en la atmósfera y su capacidad de absorción.

En cuanto a la concentración es obvio que cuanto mayor sea más influirá ese componente y si consideramos la vida media ocurre lo mismo. Un gas que es poco abundante pero con gran vida media puede provocar los mismos efectos si estuviera en alta concentración y con una vida media menor.

En la tabla se muestran algunos valores estimados de vida media.

GAS	VIDA MEDIA
CO <sub>2</sub>	50 - 200 años
CH <sub>4</sub>	10 años
CFC-11	65 años
CFC-12	130 años
N <sub>2</sub> O	150 años
NO <sub>2</sub>	1 día
SO <sub>2</sub>	algunas semanas

Las vidas medias del  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  son cortas y no influye mayormente en el efecto invernadero pero sí, como vimos antes son los responsables de la lluvia ácida.

Podemos preguntarnos ahora cuál es el origen de estos gases y en cuánto contribuye cada fuente. En las tablas que siguen se dan valores para el  $\text{N}_2\text{O}$ , CO y  $\text{CH}_4$ .

### $\text{N}_2\text{O}$

FUENTE	EMISIÓN ANUAL Tg DE $\text{N}_2\text{O}$
Océanos	2.2 - 4.1
Suelo:	
Tropical	3.5 - 5.8
Templado	1.1 - 2.4
Combustión	0.2 - 0.5
Biomasa	0.3
Fertilizantes	0.02 - 3.5
<b>TOTAL</b>	<b>7.2 - 16.5</b>

(1 Tg =  $10^6$  Ton =  $10^{12}$  g)

### CO

FUENTE	EMISIÓN ANUAL Tg DE CO
Fuentes Tecnológicas	640 ± 200
Quemado de biomasa	1000 ± 600
Vegetación	75 ± 25
Océanos	100 ± 90
Oxidación atmosférica de:	
metano (*)	600 ± 300
hidrocarburos naturales	900 ± 500
Suelo	17 ± 15
<b>TOTAL</b>	<b>3300 ± 1700</b>

(\*) aproximadamente el 50% es de origen antropogénico.

Las vidas medias del  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  son cortas y no influye mayormente en el efecto invernadero pero sí, como vimos antes son los responsables de la lluvia ácida.

Podemos preguntarnos ahora cuáles es el origen de estos gases y en cuánto contribuye cada fuente. En las tablas que siguen se dan valores para el  $\text{N}_2\text{O}$ , CO y  $\text{CH}_4$ .

$\text{N}_2\text{O}$

FUENTE	EMISIÓN ANUAL Tg DE $\text{N}_2\text{O}$
Océanos	2.2 - 4.1
Suelo:	
Tropical	3.5 - 5.8
Templado	1.1 - 2.4
Combustión	0.2 - 0.5
Biomasa	0.3
Fertilizantes	0.02 - 3.5
<b>TOTAL</b>	<b>7.2 - 16.5</b>

(1 Tg =  $10^6$  Ton =  $10^{12}$  g)

CO

FUENTE	EMISIÓN ANUAL Tg DE CO
Fuentes Tecnológicas	640 ± 200
Quemado de biomasa	1000 ± 600
Vegetación	75 ± 25
Océanos	100 ± 90
Oxidación atmosférica de:	
metano (*)	600 ± 300
hidrocarburos naturales	900 ± 500
Suelo	17 ± 15
<b>TOTAL</b>	<b>3300 ± 1700</b>

(\*) aproximadamente el 50% es de origen antropogénico.

CH<sub>4</sub>

FUENTE	EMISIÓN ANUAL	RANGO DE VARIACIÓN
	Tg DE CH <sub>4</sub>	
Tierras húmedas	115	100 - 200
Arrozales	110	25 - 170
Fermentación de excrementos	80	65 - 100
Pérdida en el transporte y bombeo de gas y petróleo	45	25 - 50
Quemado de biomasa	40	20 - 80
Termitas	40	10 - 100
Aviones	40	20 - 70
Minería del carbón	35	17 - 50
Oceános	10	5 - 20
Agua de manantial	5	1 - 25
<b>TOTAL</b>	<b>520</b>	<b>400 - 600</b>

Como vemos algunos de estos gases son producidos naturalmente en mayor cantidad que por el hombre pero no por eso debemos subestimar el problema dado que está comprobado el aumento constante (descontados los ciclos naturales) de la concentración atmosférica de metano y dióxido de carbono. Lo que debemos suponer es que la naturaleza es capaz de purificar la atmósfera de los contaminantes naturales y debemos ejercer en lo posible un control estricto sobre las fuentes antropogénicas.

Veamos ahora el papel que juega el radical oxídrido en la química atmosférica.

La concentración de HO· en la atmósfera es muy baja, aún comparada con los otros gases de invernadero. Hay aproximadamente 50000 radicales por cm<sup>3</sup> de aire. Esta cifra que parece grande no lo es tanto si recordamos que en un cm<sup>3</sup> de aire hay 2 · 10<sup>19</sup> moléculas de nitrógeno o que de metano, considerado como traza, hay 10<sup>13</sup> moléculas por cm<sup>3</sup>. A pesar de la escasa cantidad de radicales oxhidrilo, éstos juegan un papel crucial en la química atmosférica.

El radical HO· es una especie química que posee un electrón desapareado, lo que le confiere una gran inestabilidad o dicho en otros términos, es muy reactivo.

Los radicales HO· reaccionan con moléculas orgánicas quitándoles un átomo de hidrógeno formando agua y un nuevo radical:



El radical metilo ( $\cdot\text{CH}_3$ ) reacciona rápidamente con una molécula de oxígeno produciendo eventualmente formaldehído y luego de varias etapas más termina dando dióxido de carbono y agua.

Otra reacción que involucra al radical oxhidrilo es con el monóxido de carbono, producido fundamentalmente por los motores a combustión interna:



Además de aumentar la concentración de dióxido de carbono, esta reacción consume radicales oxhidrilo que podrían consumir parte del metano. Con este ejemplo vemos que, el hombre, además de liberar un compuesto tóxico como es el monóxido de carbono, indirectamente perturba un ciclo natural de auto-limpieza de la atmósfera.

## 5. Conclusiones:

A lo largo de este trabajo se intentó mostrar lo más objetivamente posible los aspectos más importantes que conciernen a la calidad del ambiente y el papel que juega la Química en ellos.

Se puso en evidencia que el cuidado de la atmósfera y océanos no es responsabilidad de un solo país; en este sentido

no hay fronteras sino que cada acción local que atenta contra el ambiente lo hace en realidad en forma global.

Este es el momento de tomar decisiones, de lo contrario podría ser demasiado tarde para revertir los cambios no deseados introducidos por el hombre en su planeta. No han sido tratados algunos aspectos que contribuyen a deteriorar el ambiente (accidentes en plantas químicas, en el manipuleo de sustancias peligrosas, la disposición de desechos, etc.) por no ser problemas previsibles o bien no directamente relacionados con la Química.

Tampoco hemos entrado en el terreno económico ni en el político por estar fuera del área de interés de este trabajo.

En algunos países o grupos de ellos se han comenzado a tomar medidas a largo plazo tendientes a evitar el deterioro del ambiente en todos sus aspectos.

A lo largo del trabajo se trató de otorgarle a cada factor el peso verdadero que tiene y repito, se trató, pues las cifras disponibles están sometidas a grandes errores. Por el momento solo podemos inferir tendencias y esperamos que en un futuro no muy lejano estemos en condiciones de hacer cálculos más precisos para tomar acciones más específicas.

Para finalizar quisiera citar a V. Massuh, quién dedicó una parte de su obra "La Flecha del Tiempo" (Editorial Sudamericana, 1990) a estos problemas. Dice el autor, casi textualmente:

No creo en la corriente de pensamiento que supone que el hombre ha ido demasiado lejos en la modificación de su planeta, que ha pasado el límite de lo prohibido y se han liberado fuerzas que ya no puede controlar. Dentro de esta corriente se puede ubicar a gran parte del ecologismo actual que propone un desmantelamiento de todo el andamiaje tecnológico que constituye la civilización. Creo que esta propuesta significa volver a la historia.

En cambio creo firmemente en la visión que Massuh llama de Prometeo y en la cual se considera que el hombre tiene en sus manos el fuego sagrado y no conviene poner límites a su curiosidad ni a la audacia de sus invenciones. Hacer lo contrario sería como renunciar a su esencia ya que comenzó la aventura creadora rebelándose contra la prohibición. El hombre

sabr  controlar las fuerzas que ha liberado y ponerlas al servicio de su perfeccionamiento. Su divisa: el progreso ilimitado y en todas las direcciones y no su detenci3n. Con todo no vendría mal prestar 3idos a la prédica de los apocalípticos ya que ellos pueden reorientar la inventiva humana.

#### 6. Bibliografía:

- Kane, M.; Chem. in Britain; Jan, 5 (1990)
- Dadoulet, B.; en "Choix  nerg tiques - Choix de société". Ed. Chronique Sociales, Francia (1982)
- Freemantle, M.; "Chemistry in Action". Ed. Mac Millan Education (1987)
- Pimentel, G. and Coonrod, J.; en "Opportunities in Chemistry - Today and Tomorrow". National Academy Press, Washington DC (1987)
- Waddington, D.J.; Gardner, M.H.; et al., en "The Changing Atmosphere", Education in Global Change; an Interdisciplinary Science Project by The Committee on Teaching of Science of the International Council of Scientific Unions (ICSU) (1991)
- La Recherche; 22 (229), 142 (1991)
- Jorquera Encina; M.; Industria y Química; 294, 29 (1989)
- Jorquera Encina; M.; Industria y Química; 295, 34 (1989)
- Greenhalgh, R.; Chem. International; 12 (2), 62 (1990)
- Chem. in Britain; April, 305 (1990)
- Molina, J.M. and Rowland, F.S.; Nature; 249, 810 (1974)
- Stolarsky, R. and Cicerone, R.; Can. J. Chem.; 52, 2 (1974)
- Aumedieu, P.; La Recherche; 22 (228), 109 (1991)
- Stevenson, R.; Chem. in Britain; May, 397 (1990)
- Brondel, G.; La Recherche; 20 (211), 837 (1989)
- Davis, G.H.; Nature et resources; XXIII (1), 2 (1987)
- Chem. in Britain; March, 209 (1990)
- "Scientific Assessment of Climate Change", World Meteorological Organisation and the UN Environmental Program (1990)
- Rowland, F.S. and Isaksen, I.S.A. (ed), "The Changing Atmosphere", John Wiley and Sons (1988)
- Escande, J. et Lannoy, A.; La Recherche; 20 (207), 281

(1989)

- Gaskell, D.; Chem. in Britain; March, 205 (1990)
- Tabeling, P. et Cardoso, O.; La Recherche; 20 (210), 692

(1990)

- Madden, R.A. and Ramanathan, V.; Science; 209, August

(1980)