



**Libro**

**Química Ambiental**

**MSc. Ana Teodora Téllez Flores**

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua  
UNAN - Managua  
Facultad regional Multidisciplinaria de Estelí  
FAREM Estelí**

**Revisión a cargo de:** MSc. Tomás Urrutia Zeas

**Diagramación:** MSc. Jessy Charlott Corea Carcache

**Impresión:** Impresiones VARGAS

Managua - Nicaragua, Marzo 2016

Esta publicación fue financiada por la Cooperación Suiza en América Central – COSUDE, en el marco del proyecto “Integración de la Gestión Integral de Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático en dos Planes de Estudios del pregrado de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua”, perteneciente al Programa Universitario para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica (PRIDCA) y ejecutado por el Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA).

Se autoriza la reproducción total o parcial del texto, indicando la fuente.

El contenido de esta publicación es responsabilidad del autor.

## Presentación

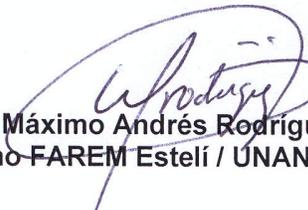
La publicación que tiene en sus manos, es el resultado de actividades propuestas en el Proyecto "Integración de la Gestión Integral de Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático en dos Planes de Estudios del pregrado de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN Managua)", ejecutado en el periodo agosto 2014 - enero 2015, y que refiere la elaboración de material didáctico. El proyecto es parte del Programa Universitario para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica (PRIDCA), ejecutado por el Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA).

El texto presentado pertenece a una colección de materiales didácticos, que comprende cartillas, libro de texto, presentaciones y video, elaborado por docentes de la Carrera Ingeniería Ambiental, de la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí-UNAN Managua, para la facilitación de asignaturas seleccionadas de la carrera. En los textos se integra como eje transversal, la gestión del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático, relevantes en el contexto de vulnerabilidad ante fenómenos naturales y antrópicos que predominan en el país.

En relación a los temas abordados, éstos son contextualizados según los riesgos y desastres más significativos, retomando metodologías y actividades de aprendizaje para el desarrollo de las clases. Las actividades no se plantean de forma aislada, sino integradas y coherentes con los programas de cada asignatura.

Esta experiencia suma a los esfuerzos de la UNAN Managua, en el proceso de construcción del abordaje conceptual, metodológico y práctico, para lograr la integración de la gestión de riesgo en la educación universitaria, y que creemos es oportuno compartir a través de esta publicación. El proceso desarrollado ha sido intenso, pero muy enriquecedor, participativo, de consenso y de búsqueda de las mejores estrategias para la integración de la reducción de riesgo de desastres en las asignaturas seleccionadas por el proyecto.

Al final, se espera que la colección aporte a la formación de profesionales y técnicos integrales, capaces de interpretar los fenómenos naturales y sociales con un sentido crítico, reflexivo y propositivo para que contribuyan al desarrollo social; teniendo como reto enfrentar escenarios futuros de vulnerabilidad ante fenómenos naturales y antrópicos, y el cambio climático del país.

  
**MSc. Máximo Andrés Rodríguez Pérez**  
Decano FAREM Estelí / UNAN Managua



## Índice

Ubicación Temática.....	6
Capítulo 1	
Introducción a la Contaminación.....	13
1.2 Definición de contaminación y contaminante.....	14
1.3 Características de los contaminantes.....	17
1.4 Clasificación de la contaminación.....	21
1.5 Industrias más contaminantes y contaminantes generados.....	28
1.6 Causas de la contaminación, riesgos, impacto y alternativas .....	43
1.7 Principales efectos de los contaminantes sobre la salud humana.....	47
Capítulo 2	
Contaminación hídrica.....	59
2.1 Importancia y propiedades del agua.....	59
2.2 Procesos químicos en el agua.....	65
2.3 Parámetros de análisis de agua.....	73
2.4 Tipos de contaminantes del agua.....	84
2.5 Contaminación que altera el pH y la salinidad del agua.....	90
2.6 Contaminantes en aguas residuales urbanas.....	91
2.7 Contaminantes en el agua potable.....	95
2.8 Contaminación marina.....	100
2.9 Impacto ambiental antrópico sobre el recurso agua.....	101
2.10. Riesgos de la contaminación hídrica para la salud .....	105
Tratamiento de aguas de consumo y residuales.....	109
Capítulo 3	
Contaminación atmosférica.....	121
3.1 Aspectos generales.....	121
3.2 Estructura y composición química de la atmósfera.....	125
3.3 Origen de los contaminantes atmosféricos.....	134
3.4 Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos.....	141
3.5 Comportamiento y destino de los contaminantes atmosféricos.....	144
3.6 Ciclos biogeoquímicos: ciclo del carbono y nitrógeno.....	147
3.7 Química estratosférica.....	152
3.8 Química de la Troposfera.....	167
3.9 Química de la capa de mezcla smog fotoquímico.....	177
3.10 Calentamiento Global.....	182
3.11 Efecto invernadero.....	187

3.12 Alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático.....	189
3.13 Efectos de los contaminantes del aire sobre la salud humana y ambiental.....	192
Capítulo 4	
Contaminación del suelo.....	203
4.1 Aspectos generales.....	203
4.2 Química del suelo.....	207
4.3 Constituyentes inorgánicos y orgánicos en el suelo .....	210
4.4 Procesos químicos del medio edáfico .....	222
4.4 Contaminantes metálicos .....	231
4.5 Contaminantes orgánicos .....	233
Comportamiento químico de los plaguicidas en el suelo.....	234
Reflexión final .....	240
Bibliografía.....	243

## Ubicación Temática

Hoy estamos poniendo a su disposición este texto de Química Ambiental que servirá de base para el estudio de la asignatura. Quizá se pregunte, ¿de qué trata el mismo? Pues bien, este texto trata sobre la relación existente entre la química y el medio ambiente desde un punto de vista químico. Es decir, la química aplicada al estudio de los problemas y la conservación del medio ambiente, a saber: química de la atmósfera, las interacciones químicas en los cuerpos de agua, y los suelos.

Como sujeto activo en el proceso de aprendizaje de la asignatura Química Ambiental, usted tendrá la posibilidad de construir conscientemente sus aprendizajes, por lo que no sólo asimilará los contenidos, sino que, los cuestionará, comparará, contextualizará, compartirá, expresará y aplicará. Tal como plantean Gutiérrez y Prieto (2006: xiv):

“No son los simples conocimientos los que dan sentido a la vida, sino su integración a procesos de aprendizaje y a la realización humana”.

Una universidad anclada en el traspaso de conocimientos, termina por perder su sentido: el de la formación de los seres humanos. No es con datos como éste que se logra, sino por la pasión de la comunicación, por la realización humana, por la aventura de realizarse como persona, a partir de la construcción de conocimientos, de la creatividad, de la investigación, del intercambio de experiencias”.

En este sentido, la reflexión, el análisis la creatividad y la entrega personal deben estar siempre presentes en el proceso de aprendizaje y no olvide que "ENTUSIASMO, ORGANIZACIÓN, VOLUNTAD = SATISFACCIÓN. Si los incorpora en su haber, sin lugar a dudas, llegará a la meta con la satisfacción de haber obtenido un aprendizaje significativo, más que una "nota final".

En lo personal, es gratificante la oportunidad de emprender con usted un proceso de aprendizaje holístico, interactivo y multilateral en este fascinante recorrido por los senderos de la química ambiental. Este texto está organizado en cuatro capítulos desglosados como sigue:

- Capítulo I: Introducción a la contaminación
- Capítulo II: Contaminación hídrica
- Capítulo III: Contaminación atmosférica
- Capítulo IV: Contaminación del suelo

El primer capítulo "Introducción a la Contaminación" aborda la importancia del estudio de la Química Ambiental, el fenómeno de la contaminación, su clasificación dependiendo de las fuentes que la generan y de su origen. Así mismo, las industrias más contaminantes, tipos de contaminantes generados y los riesgos sobre la salud humana y ambiental. Por lo que es importante que comprenda que la contaminación del ambiente nos amenaza, poniendo en riesgo a las generaciones presentes y venideras.

De ahí, la importancia de la remediación de los problemas de contaminación, en congruencia con el desarrollo sostenible, mediante una estrategia general de prevención de riesgo.

El segundo capítulo, "Contaminación del medio hídrico", describe la importancia y propiedades del agua y los procesos o reacciones químicas que ocurren en ésta. También, explica los parámetros de análisis de agua (físicos, químicos y biológicos), los tipos de contaminantes (inorgánicos, orgánicos, residuales y marinos). Así mismo, analiza el impacto ambiental antrópico, es decir, las consecuencias o riesgos de la contaminación en los seres vivos y qué regiones del país presenta mayores amenazas de contaminación hídrica, así como el tratamiento de aguas de consumo y residuales.

En el tercer capítulo, "Contaminación atmosférica", se explica la estructura y composición de la atmósfera, los principales ciclos biogeoquímicos, el origen, comportamiento y des-tino de los contaminantes atmosféricos. También, se analizan los fenómenos químicos que se dan en la estratosfera y, en concreto, aquellos procesos químicos en los que interviene el ozono (los compuestos químicos que lo destruyen), así como los fenómenos químicos de la troposfera, en particular, la generación química de la lluvia ácida como una amenaza a la flora, fauna e infraestructura.

En este mismo orden, se describen las reacciones del smog fotoquímico y los riesgos de los contaminantes del aire sobre la salud humana y vegetación, así como las principales amenazas para la biodiversidad.

Además, se reflexiona sobre el calentamiento global y las principales medidas o alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático.

En el último capítulo "Contaminación del suelo", se abordan aspectos relacionados con la composición química del suelo, se describen los constituyentes inorgánicos y orgánicos presentes en él y los procesos químicos del medio edáfico. Se establece la relación causa-efecto en los fenómenos de contaminación del suelo. A su vez, se analiza el comportamiento químico de los plaguicidas en el suelo y las repercusiones que tienen sobre el ambiente las actividades humanas en relación a la contaminación del suelo.

Este texto será de gran provecho, si al culminar su estudio usted ha logrado comprender, cómo las actividades humanas mal orientadas son la causa de la mayoría de los problemas de contaminación ambiental que ahora existen. Es importante entonces, el nivel de comprensión y análisis alcanzado para el emprendimiento de acciones dirigidas a la prevención, mitigación y adaptación al cambio climático. Todo ello, en pro de la protección y conservación del medio ambiente, a fin de minimizar los riesgos derivados de la acción antrópica.

Así pues, le invitamos a implicarse en las acciones para impulsar los cambios necesarios que nos aproximen hacia la meta que pretendemos alcanzar, que es la comprensión y transformación del mundo químico en el que nos desenvolvemos, en aras de la solución de los problemas ambientales a los que nos vemos enfrentados

cotidianamente. Todo esto, implica migrar del enfoque convencional de la química hacia un enfoque sostenible, denominado actualmente química verde, cuya filosofía es el diseño de productos y procesos químicos que tienen como propósito reducir o eliminar productos químicos nocivos para la salud humana y ambiental.

¡Una necesaria aclaración!

Para el logro del autoaprendizaje se sugiere la técnica del texto paralelo a este texto base, mediado pedagógicamente con la finalidad de compartir los contenidos de manera clara, con estética y belleza de expresión. Se entiende por mediación pedagógica “el tratamiento de contenidos y de las formas de expresión de los diferentes temas a fin de hacer posible el acto educativo, dentro del horizonte de una educación concebida como participación, creatividad, expresividad y relacionalidad” (Gutiérrez & Prieto, 1996, p. 50).



Fuente: <http://goo.gl/091yww>

Su texto paralelo, lo podrá ir construyendo a medida que conozca, estudie, analice y reflexione en torno a las temáticas de cada capítulo del módulo. Éste podrá ser enriquecido a través del registro de experiencias relacionadas con el contexto, reflexiones, discusiones con otros profesionales, estudiantes, entre otros. Para ello, se requiere de una lectura reflexiva analítica, crítica y comprensiva, tanto individual como en equipo.

En este mismo orden, es conveniente resolver de manera individual o en equipo, cuando corresponda, las actividades de trabajo sugeridas que se indican en cada capítulo. La reunión de todas las sugerencias de trabajo, elaboradas en la medida que progrese en su estudio, constituirá parte de sus logros en la asignatura Química Ambiental. A medida que vaya avanzando, podrá experimentar la satisfacción de estar cada día más cerca de su meta.

Finalmente, debo decir que este texto no pretende sustituir los libros ya escritos, ni en modo alguno, pretendo limitarlos a la búsqueda de información. Muy por el contrario, tiene la libertad de consultar en distintas fuentes sobre aportes relacionados con la temática en cuestión, a fin de profundizar y enriquecer los aprendizajes. No olvide, vincularlos con problemas prácticos del contexto. Sólo así, dará fe de que ha asimilado y construido consciente y permanentemente su conocimiento.

*Recordar es fácil para quien tiene memoria, olvidar es difícil para quien tiene corazón.*

*Gabriel García Márquez  
Escritor colombiano (1927-2014)*





Fuente: <http://goo.gl/7fBSgH>

# Capítulo 1

## Introducción a la Contaminación



### 1.1 Generalidades de la contaminación

“Las demandas de una población creciente, unidas con el deseo de la mayoría de las personas de un estándar de vida material superior, traen como resultado la contaminación mundial en una escala masiva”. (Manaham, 2007, p. 19). Evidentemente, a medida que aparecen nuevas “necesidades” como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente se contamina cada vez más, y consecuentemente, ello supone un riesgo para la salud humana y ambiental.

Como sabemos, la contaminación está terminando con la vida de muchas especies y cada día aumenta su proporción en nuestro planeta. Ahora que estamos en el siglo XXI, esta situación se ve ha agravada con el invento de grandes cantidades de productos y materiales químicos. Los desechos sólidos, líquidos y gaseosos, como, por ejemplo, la polución de los vehículos que emana dióxido de carbono y las fábricas que expulsan grandes cantidades de humo, están contaminando el aire que respiramos.

Así mismo, la superpoblación está acabando con los bosques, lo que implica, entre otras cosas, el cambio de uso de los suelos de vocación forestal para uso agrícola y ganadería extensiva. Esto, impide la oxigenación del medio ambiente y nosotros somos los principales protagonistas de este deterioro. Ahora, se hace necesario que saquemos a luz nuestros aprendizajes y experiencias previas, partiendo de una reflexión sobre las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo entiende usted el concepto de contaminación?
- ¿Cuándo decimos que existe contaminación?
- ¿Cuándo existen en el medio ambiente alteraciones debido a amenazas externas?
- Y, más importante aún, ¿qué soluciones son posibles para mitigar los impactos?



## **1.2 Definición de contaminación y contaminante**

De acuerdo con Campos, 2000, la contaminación, uno de los problemas ambientales más importantes que afecta a nuestro planeta, se refiere a la alteración de los factores bióticos (sustancias orgánicas y seres vivos) o abióticos (aire, agua, minerales) del medio ambiente, debido a la descarga o emisión de desechos sólidos, líquidos o gaseosos. Así, por ejemplo, la intoxicación de especies acuáticas en nuestros ríos por plaguicidas representa un caso de contaminación, un desastre, lamentablemente común en nuestro país.

Así mismo, cuando se descarga gran cantidad de desechos líquidos provenientes de agroindustrias. Estos desechos afectan la calidad del agua de los ríos y provocan, entre otros efectos, la pérdida de oxígeno en el agua. Los peces y todos los seres vivos que necesitan oxígeno para sobrevivir, mueren por sofoco, si la contaminación es aguda.

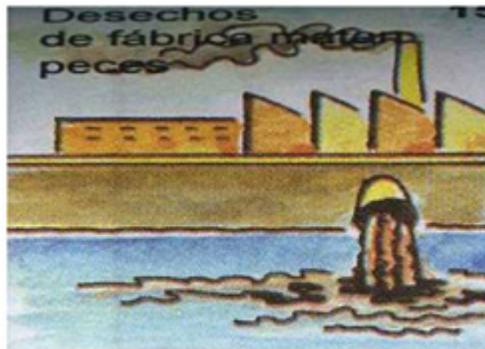


Fig. 1. Desechos de fábrica matan peces.  
Fuente: López, J. et al, 1996.

Otra alteración del ambiente se tiene cuando una sustancia externa, adicionada al medio en combinación con otras sustancias forma una tercera, dañina. Por ejemplo, los óxidos de sulfuro ( $SO_x$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), provenientes de los procesos de combustión, interactúan con el vapor de agua y la luz solar formando ácidos: ácido sulfúrico y ácido nítrico, conocidos como lluvia ácida. La lluvia ácida afecta los ecosistemas naturales, principalmente los medios acuáticos.



Fig. 2. Deposición de basura en mares.  
Fuente: López, J. et al, 1996.

También, acelera los procesos de corrosión y destrucción de los materiales de construcción. Así pues, la contaminación involucra dos aspectos: la causa, agentes contaminantes u amenazantes, y el efecto, alteración en el medio ambiente (Campos, 2000).

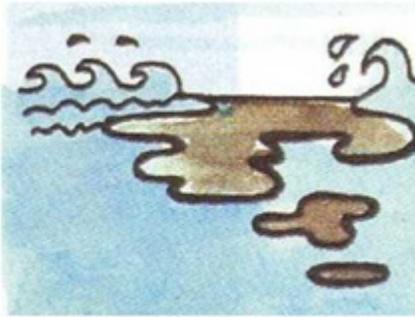


Fig. 3. Derrame de petróleo. Fuente: López, J. et al, 1996

El término contaminación podemos definirlo de una manera más clara, como la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidades tales, que provocan alteraciones indeseables del aire, agua o suelo y como consecuencia causan efectos adversos en los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentran

expuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles de los que se encuentran regularmente en la naturaleza.

Cualquiera de dichas sustancias es denominada "contaminante". Si consultamos un diccionario etimológico, encontramos que la palabra contaminante viene como participio activo del verbo transitivo "contaminar" y del sufijo "nte" que indica que hace la acción. En sí, un contaminante es una sustancia o agente dañino que se encuentra presente en un medio (o lugar), al cual no pertenece o que está en niveles que produce efectos adversos. Manahan (2007: 20), define contaminante "a una sustancia presente en concentración mayor que la natural, como resultado de la actividad humana, que tiene un efecto perjudicial neto en el medio ambiente o sobre algo de valor en ese ambiente" Cabe mencionar que, la dinámica de un contaminante es dispersarse, concentrarse, transferirse y transformarse.



### 1.3 Características de los contaminantes

Debemos prestar especial atención a las características que poseen los contaminantes, especialmente aquellas que resultan de gran importancia por estar relacionada con la manera en que los mismos afectan el ambiente o la salud.

A continuación, se describen algunas de estas propiedades.

- **Potencial de hidrógeno (pH):** se considera como una de las propiedades más importantes de los contaminantes, ya que determina si la sustancia es corrosiva; de ser así, se le puede considerar como residuo peligroso. Para que una sustancia se puede considerar corrosiva, debe tener un pH menor o igual a 2.0, y mayor o igual a 12.5.
- **Volatilidad:** es la propiedad que poseen algunos compuestos de poder evaporarse a bajas temperaturas y afectar la atmósfera. Entre los principales compuestos volátiles se encuentran sustancias orgánicas como el etileno, propileno, benceno y acetona; que se evaporan y contribuyen directamente a la contaminación del aire, o a través de reacciones químicas o fotoquímicas para producir compuestos secundarios.
- **Degradabilidad:** es la característica que tienen los compuestos que son reducidos por agentes naturales físicos, químicos y procesos biológicos a un estado neutral o a niveles aceptados por la naturaleza.

Si el compuesto es reducido por materia orgánica viva (bacterias especializadas) se le conoce como "biodegradable". Este proceso puede realizarse en forma rápida (por ejemplo, las descargas municipales son fácilmente reducidas por bacterias) o lenta, como ocurre en la mayoría de las sustancias introducidas al medio ambiente, por ejemplo, los insecticidas (DDT), plásticos, aluminio, clorofluorocarbonos, entre otras.

- **Difusión:** es la capacidad que poseen los contaminantes de poder distribuirse uniformemente en el medio que los rodea. Los gases tienen la propiedad de que pueden mezclar las moléculas, sin necesidad de que exista una reacción química. Los líquidos sumergidos en un solvente tienen la capacidad de distribuirse en todo el volumen del mismo. Esta propiedad no es muy conocida en los sólidos, pero sí se puede presentar en compuestos puros que se encuentren juntos (ejemplo, una barra de zinc frente a una de cobre; después de un tiempo, parte del zinc se encuentra alojado en la barra de cobre).
- **Tiempo de vida media:** es el tiempo que puede durar el contaminante en el medio ambiente antes de ser degradado por los procesos naturales. Esta propiedad es diferente para cada tipo de compuesto, por ejemplo, algunos tienen un tiempo de vida media menor a un día, otros de muchos años, tal es el caso del Dicloro, Difenil, Tricloroetano (DDT) cuya persistencia o vida media es muy elevada y se estima que su permanencia en el suelo es superior a 100 años.

Mientras que otras sustancias, nunca son degradadas por los procesos naturales. En la tabla número uno de la siguiente página, podemos apreciar algunos materiales o residuos y el tiempo que tardan en degradarse.

Tabla 1. Tiempo en que tardan en degradarse distintos tipos de materiales.

Imagen	Residuo/material	Tiempo en degradarse
	Desechos orgánicos	3 semanas a 4 meses
	Ropa o género de algodón y/o lino	1 a 5 meses
	Par de medias de lana	1 año
	Zapatos de cuero	3 a 5 años
	Papel	3 semanas a 2 meses
	Celofán	1 a 2 años
	Trozo de tela	De 2 a 3 meses
	Envases de lata	10 a 100 años
	Envase de aluminio	De 350 a 400 años
	Materiales de plástico	500 años
	Vidrio	Indefinido en descomponerse

Fuente: <https://goo.gl/DlT4mF>

Ahora bien, por sus propiedades, algunos elementos o compuestos químicos no producen ningún efecto adverso sobre el medio ambiente, o bien, el daño es mínimo y se ve minimizado por los mismos procesos naturales. El daño que pueden generar se debe a la mezcla con otros compuestos.

La mezcla de las sustancias, de acuerdo con sus interacciones, se puede clasificar en:

- **Sinergismo:** Se entiende como sinergismo a la acción del aumento de los efectos de un contaminante, a causa de la introducción o presencia de otro. El efecto total de esta interacción es superior a la suma de los efectos de cada uno de los contaminantes por separado. Veamos el siguiente ejemplo: el vapor de agua en presencia de óxidos de azufre, reacciona para producir lluvia ácida.
- **Antagonismo:** contrariamente al anterior, el antagonismo se refiere a la interacción de dos o más contaminantes que tienen efectos opuestos en un ecosistema determinado. Es así, que uno de ellos reduce parcialmente el efecto del otro. Por ejemplo, el potencial carcinogénico del arsénico (As) es contrarrestado por el Selenio (Se).
- **Efectos multiplicativos:** es la acción que tienen algunos contaminantes, que, al interactuar, producen un efecto exponencialmente mayor que si actuaran de manera individual. Así, por ejemplo, la exposición simultánea del tetracloruro de carbono y el etanol produce mucho más daño al hígado del que se hubiera producido de manera aditiva.
- **Neutralización:** es el resultado que se obtiene cuando al interactuar dos contaminantes, reducen en su totalidad sus efectos.

En fin, a menudo la mezcla de sustancias, de acuerdo con sus interacciones, origina efectos diferentes de los que se hubiera predicho para las mismas sustancias de manera independiente. Lamentablemente, desconocemos la naturaleza de muchas interacciones.



## 1.4 Clasificación de la contaminación

Hemos abordado ya varios aspectos de la contaminación. Ahora nos referiremos a la clasificación de ésta en dependencia de sus características y de las fuentes que la generan, tales como, como:

**a) - Contaminación biológica:** este tipo de contaminación se presenta cuando existen microorganismos (bacterias, hongos, virus, protozoarios, entre otros) que causan un desequilibrio en la naturaleza. Ocurre cuando las condiciones higiénicas son deficientes. Imaginémonos, por ejemplo, la existencia de un microclima dentro de una mina subterránea que favorece el crecimiento de hongos. Otros ejemplos de este tipo de contaminación son el cólera (producida por el vibrión cólera) y el H1N1 (producida por el virus de la influenza humana).

En general, la contaminación biológica se puede evitar o controlar con relativa facilidad. Si bien es cierto, causa altas tasas de morbilidad y mortalidad, es relativamente controlable por medio de higiene, ingeniería sanitaria, etc. Esto, por la facilidad que permite asociar causa y efecto.

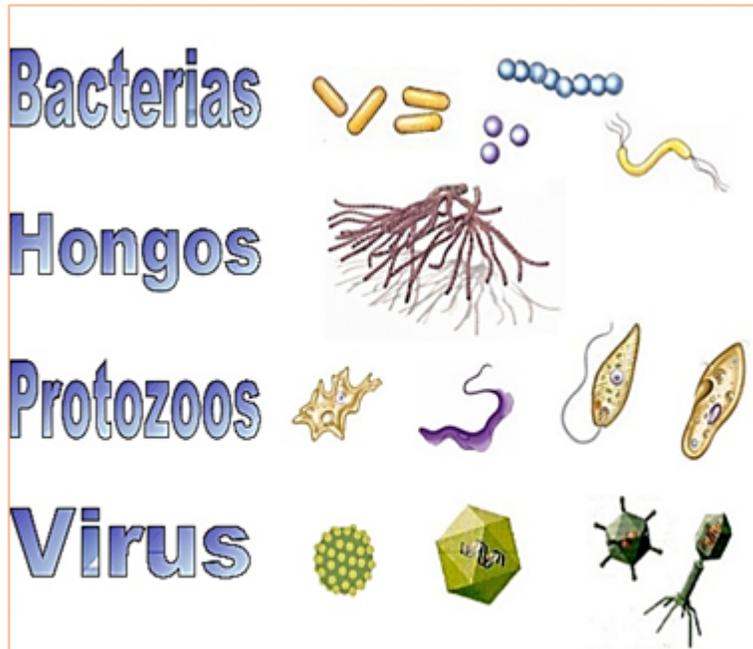


Fig.4. Distintos tipos de microorganismos patógenos. Fuente: <http://goo.gl/JBkP19>.

**b) - Contaminación física:** es toda aquella contaminación causada por factores físico-mecánicos relacionados principalmente con la energía. Por ejemplo: altas temperaturas, ruido, radiaciones, ondas electromagnéticas, entre otros.

Este tipo de contaminación, por su característica tan sutil, tiene efectos a largo plazo que no son fáciles de identificar, ya que es difícil establecer la asociación causa-efecto.

De modo que, pueden pasar años antes de que se observen los efectos y de que la fuente contaminante se detecte, se identifique y se pueda controlar.

Sin embargo, se ha demostrado que la contaminación física puede causar la muerte en algunas especies e influir en el desarrollo de algunas enfermedades en los seres humanos, tales como, psico-neurológicas, alteraciones genéticas, cáncer, entre otras.

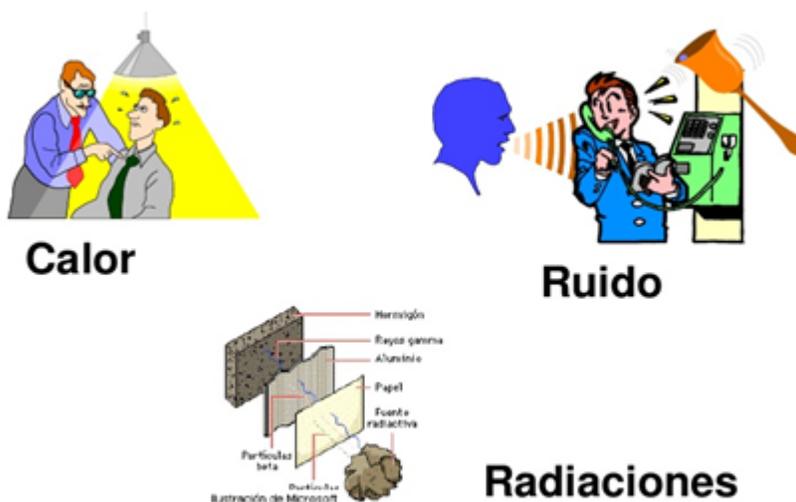


Fig.5. Distintos tipos de contaminación física. Fuente: <http://goo.gl/YwVEaX>

**c) - Contaminación química:** es toda aquella contaminación provocada por materia, especialmente por sustancias químicas, que pueden ser orgánicas e inorgánicas. Este tipo de contaminación refiere a la combinación de sustancias químicas potencial o no potencialmente peligrosas para la salud en diversas áreas y materia de nuestro entorno, por ejemplo: suelo, aire, agua y alimentos. Tal como se afirma, la contaminación química es tan antigua como la misma humanidad, pero su impacto más notorio se presenta durante el auge industrial de la segunda guerra mundial.

En nuestra vida diaria usamos productos que contienen sustancias químicas contaminantes, que constituyen amenazas potenciales para nuestra salud. Entre estos están, por ejemplo, desinfectantes, detergentes, pegamentos, repelente para insectos, desengrasantes, medicinas caducadas, pinturas a base de aceite, baterías recargables, pulidores, removedores de uñas, artículos que contienen mercurio (interruptores, termómetros, etc.), bombillos o lámparas fluorescentes, plaguicidas, y aerosoles. Cabe destacar, que cada molécula de aerosol puede deteriorar alrededor de 10.000 moléculas de ozono.



Fig. 6. Algunos productos tóxicos usados en el hogar  
Fuente: <http://goo.gl/Oo1HmZ> y <http://goo.gl/FdtuLM>

Así mismo, es importante señalar que el mayor problema de los efectos de los contaminantes químicos es que, a veces, se sabe muy poco de sus consecuencias potenciales a largo plazo.

Por lo tanto, es necesario la prevención, con el objetivo de evitar o, al menos, paliar los efectos negativos del agente contaminante.

Así que, por ejemplo, podemos usar bicarbonato de sodio que elimina grasas y manchas, limpia el fregadero y suaviza el agua. Los jabones los podemos sustituir por jabones ecológicos que prescindan de conservantes, colorantes y perfumes sintéticos, además, sus envases suelen ser biodegradables. (<http://goo.gl/fZ8i4Q>).

Por otro lado, la contaminación también puede clasificarse de acuerdo con su origen, y puede ser:

- Natural: es aquella causada por fuentes de contaminación de origen natural como: los volcanes que expelen a la atmósfera cenizas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfuros, monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y ácido fluorhídrico ( $\text{HF}$ ); alterando tanto el aire como el agua y el suelo. En la siguiente imagen podemos observar la actividad eruptiva del volcán Momotombo ocurrida el 01 de diciembre de 2015, el cual expulsó gases, cenizas y lava.



Fig. 7. Volcán Momotombo, Nicaragua, en plena erupción por primera vez, desde 1905, el 01 de diciembre de 2015. Fuente: <http://goo.gl/f3XPYd>.

Otra fuente de contaminación natural son los incendios originados por tormentas eléctricas; residuos provenientes de la erosión de rocas en minerales pesados (altas concentraciones de Ni, Cr y Mg forman suelos tóxicos afectando el desarrollo normal de las plantas); minerales que forman parte del agua o que se introducen en ella naturalmente, aún en mínimas cantidades, como, por ejemplo, el Cd y el Pb son muy peligrosos para la salud y, otros efectos geoclimáticos.

También, se conoce que el Hg de la corteza terrestre suele contaminar grandes zonas e incluso la biosfera, es decir, que de estar en grandes concentraciones podría contaminar más que la contaminación debido a acciones humanas.

La característica principal de la contaminación natural, es que se encuentra, generalmente, dispersa en un área mayor, por lo que el efecto es diluido por los procesos naturales.

- Antropogénica: es la producida o distribuida por el ser humano, por ejemplo: la basura, el smog; descargas al aire, agua y suelo procedentes de procesos industriales, entre otros. Este tipo de contaminación ocurre en áreas cercanas a zonas urbanas y regiones industriales, donde los contaminantes están concentrados en pequeños volúmenes de aire, agua y suelo.

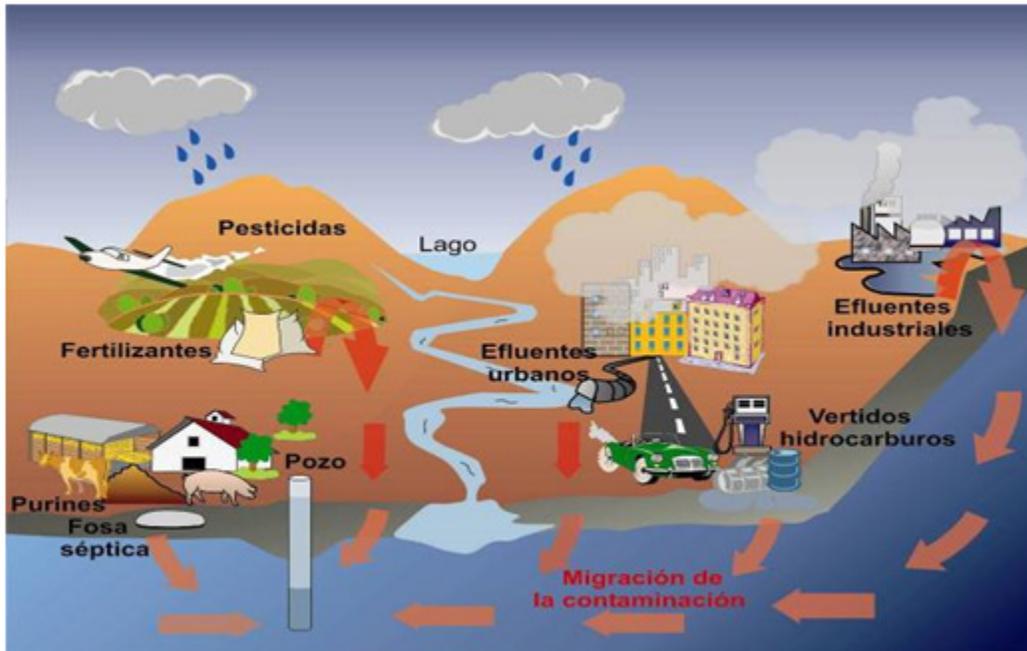


Fig. 8. Distintos tipos de contaminación de origen antrópico, que degradan el suelo, aire, y agua. Fuente: <http://goo.gl/jFIW4d>

Es importante señalar que, estamos rodeados de tóxicos ambientales y contaminación electromagnética, procedente de las emisiones de telefonía móvil y de la electrificación de nuestros hogares y ciudades.

Estos factores, por lo general, son imperceptibles a nuestros sentidos, pero nuestro organismo a mediano o largo plazo muestra sus efectos. Estos efectos van desde pequeñas molestias hasta enfermedades degenerativas graves.

Para concluir con este apartado, es bien sabido que una de las principales fuentes de contaminación antropogénica es la agricultura industrializada, en la que se genera una gran cantidad de sustancias contaminantes cuyo destino final es el suelo o las fuentes de agua, provocando desequilibrios en el entorno y, por ende, serios riesgos para la salud humana.



### **1.5 Industrias más contaminantes y contaminantes generados**

Según Hill, J. y Kolb, D. (1999), los seres humanos siempre hemos alterado nuestro entorno, con la invención de las herramientas y el uso del fuego. Las fogatas que nuestros antepasados encendían llenaban de humo el aire y se talaban bosques, originando tormentas de polvo. Posteriormente, al construir ciudades y con el hollín de sus hogares y el hedor de los desechos llenaron el aire. Pero la revolución industrial, como mencionamos anteriormente, trajo consigo un impacto más notorio y complejo. Se quemó hulla para dar energía a las fábricas y calentar los hogares y, el aire se llenó de hollín, humo y dióxido de azufre. Así que, afirma el autor, el mundo actual ha experimentado cambios y su ritmo ha alcanzado un nivel tal que nuestro entorno sería incapaz de absorberlo.

Como es bien sabido, las industrias emiten productos contaminantes, cuyas características dependen fundamentalmente de las calidades de los combustibles y materias primas empleadas, del tipo de proceso y de la tecnología que se utiliza.

De los contaminantes gaseosos que se desprenden de los procesos químicos, el dióxido de azufre es de los que ha recibido mayor atención. La eliminación de  $\text{SO}_2$  se ha convertido en una cuestión ecológica muy importante. Es así que, los seres humanos convivimos, cada vez más, con amenazas que ponen en peligro nuestra integridad física y calidad de vida, así como la del entorno.

Cabe destacar que las industrias, en general, emiten al medio ambiente sustancias nocivas, tóxicas o peligrosas, directa o indirectamente de sus instalaciones o procesos industriales. Estas emisiones pueden ser:

- Emisiones a la atmósfera
- Vertidos a las redes públicas de saneamiento
- Vertidos directos al suelo o a cauces de aguas superficiales
- Almacenamientos o disposición de residuos industriales
- Ruidos en el entorno
- Extracción y explotación de los Recursos Naturales
- Eliminación de residuos o desechos que trae como consecuencia un mayor o menor grado de daño o impacto ambiental.



Fig. 9. Industrias contaminantes.  
Fuente: <http://goo.gl/oqYSKE>

En estas emisiones quedan incluidas las que se derivan de los productos o subproductos que las industrias ponen en el mercado. Por ejemplo, la contaminación por:

- Dioxinas que se pueden producir por la combustión de productos de policloruro de vinilo (PVC) en vertederos y por incineración.
- Gases clorofluorcarbonados (CFC) que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono estratosférico.

En los casos, anteriormente descritos, la mejor política preventiva es la prohibición de la utilización del compuesto dañino o al menos la implementación de alternativas para el control de las emisiones. Tal es el caso de los CFC, que en el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de Londres se establece su reducción y eliminación para el 2010. En lo que concierne a los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que reemplazaron transitoriamente a los CFC como refrigerantes o solventes, se plantea su eliminación total para el 2030. Esto debido a que en conjunto con el CFC son 10, 000 veces más potentes como gases de efecto invernadero con relación al CO<sub>2</sub>.

No obstante, y a pesar de lo antes dicho, la política seguida hasta ahora, por regla general, en lo que concierne a la contaminación industrial ha sido la aplicación de métodos correctivos, también conocidos como de final de tubería, con la utilización de tecnologías como el filtrado de humos y gases, la depuración de vertidos o el confinamiento en depósitos de seguridad de los residuos tóxicos. Este tipo de métodos no eliminan la contaminación, sino que la trasladan de un medio a otro: los lodos y residuos de la depuración o filtrados han de depositarse en algún lugar y se sabe que en algunos casos se usan para la fertilización de suelos para cultivos.

En este mismo orden, se afirma que la industria pesada utiliza como materia prima grandes cantidades de productos brutos (pesados) para ser transformados y poder ser utilizados como materia prima por otros sectores industriales. Este tipo de industria es muy contaminante y por lo general se encuentran cerca de los recursos o cerca de un puerto mercante al que pueden llegar grandes cantidades de materia prima. Los principales sectores de la industria pesada son la **metalúrgica** y la **química**.

La **industria metalúrgica** tiende a ubicarse siempre cerca de los recursos. Necesita grandes espacios para instalar sus sistemas productivos: altos hornos, trenes de laminación, lugares de almacenamiento, transporte interno, entre otros. Son plantas que exigen grandes inversiones. Proporciona lingotes, forjados, tubos, planchas de acero, hierro, aluminio u otros metales capaces de producir una intoxicación aguda o crónica. Esta industria permite tener asociadas otras formas de rendimiento como la producción de energía eléctrica en los altos hornos o la obtención de cemento. Son las denominadas plantas de cogeneración (de los residuos obtienen subproductos).

La **industria química** es más variada y utiliza una amplia gama de recursos: combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, pirita, cal, sales, productos vegetales y animales, entre otros. Su proceso de producción es muy complejo, por lo que el valor añadido es mayor y no dependen tanto de una localización cercana a los recursos. Además, los productos químicos necesitan condiciones de transporte y almacenamiento especializados.

Los productos más comunes que proporciona son fertilizantes, plaguicidas, colorantes, explosivos, plásticos, gomas, caucho, detergentes, aislantes, fibras artificiales, productos farmacéuticos y otros.

Sin lugar a dudas, la industria química, es una de las más contaminantes. Desde que comenzó el desarrollo de la industria química, se calcula que se han producido y diseminado en el medio ambiente aproximadamente cien mil (100.000) nuevas sustancias químicas. Además, cada año esta cifra se va incrementando en mil (1.000) nuevas sustancias.

Desde que estas sustancias se liberan al medio, se van acumulando en el agua, en el aire, en el suelo, en los alimentos e incluso en nuestros tejidos. Con el tiempo, actúan sobre ellos amenazando nuestra salud. Muchas de estas sustancias podrían ser extremadamente tóxicas para los seres vivos. Esto implica que el ambiente natural, ideal para la vida en la Tierra, se ve afectado de diferentes formas con estas nuevas sustancias. Lo más preocupante es que el conocimiento del impacto de estas sustancias sobre el medio ambiente y la salud humana es escaso y, en la mayoría de los casos es inexistente.

Dicha situación, está llevando a un ataque del medio ambiente con sustancias químicas de diferentes características que provoca pérdidas de vidas humanas, sin que la medicina tenga en muchos casos una explicación correcta sobre las causas de las mismas.

El aumento de la contaminación, también, tiene una relación directa con un aumento de determinadas dolencias como el cáncer y otras enfermedades del sistema reproductor.

En este mismo orden, se encuentra la contaminación por **Policloruro de Bifenilo (PCB)**, que está considerado, por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como uno de los doce contaminantes **más nocivos** fabricados por el ser humano. Actualmente su uso está prohibido en casi todo el mundo. Por sus características anti inflamables, la mayoría de los aceites dieléctricos con PCB's se usaron fundamentalmente en áreas con alto riesgo de incendio por su baja inflamabilidad y presión de va-por, tales como plantas industriales, en transporte colectivo de tracción eléctrica (tranvías) y en la industria petroquímica. También, otras aplicaciones como conocidas, han sido en papel para copiar libre de carbón, como agentes limpiadores de tinta para el reciclado del papel impreso y como agentes resistentes al agua. Como resultado de los vertidos industriales y el almacenamiento de todos estos productos, los PCB están ampliamente distribuidos en el medio ambiente, por lo que su difusión a través de las aguas lo ha desplazado por toda la hidrosfera, y ello implica tanto a la masa acuática como a los sedimentos fluviales y marinos donde se acumula. (Spiro y Stigliani, 2004).

Ahora bien, dada la acumulación de PCB's en el tejido adiposo y otros órganos con contenido graso como el cerebro y el hígado los seres más dependientes de toda una cadena alimentaria son los que han podido acumular más PCB, tales como los seres humanos u otros depredadores como cetáceos o aves rapaces.

Los primeros expuestos son fundamentalmente los peces, por ser el agua y los sedimentos el principal acumulador del producto. Debido a su amplia difusión ambiental se ha encontrado en la leche y sus derivados, pues son de lenta y difícil degradación, y buena parte de ellos en determinadas condiciones pueden permanecer durante siglos en el medio.

Los PCB entran al organismo a través de los pulmones, el tracto gastrointestinal y la piel. El consumo de pescado y animales con cantidades elevadas de tejido adiposo implicaría serios riesgos para la salud. Entre las enfermedades que pueden sufrir las personas expuestas, incluyen cloroacné, decoloración de la piel, bebés con bajo peso y elevado índice de mortalidad entre bebés de madres expuestas. (Spiro y Stigliani, 2004).

Ahora bien, dentro del amplio espectro de empresas del sector industrial caben destacar algunas que en su producción emiten contaminantes persistentes, tóxicos o radiactivos: **Industrias del cloro, Plantas de PVC, Papeleras (fábricas de celulosa-pasta de papel), Industrias metalúrgicas, Plantas de fertilizantes, entre otras.**

No obstante, no hay que olvidar que no sólo los residuos de las grandes industrias representan un grave problema ambiental, pues a ello se suman los miles de **basureros urbanos**, grandes y pequeños donde se vierten todo tipo de elemento, además de la materia orgánica, desde baterías con plomo hasta electrodomésticos o recipientes con materias peligrosas, cuyos lixiviados se filtran hacia las aguas superficiales y subterráneas.

También, se incluyen los contaminantes generados por otras empresas menores, e incluso los que podemos producir desde nuestros hogares, por ejemplo, a través del alcan-tarillado.

A modo de síntesis, los principales tipos de contaminantes provenientes de descargas industriales son:

- Inorgánicos: cloruros sulfatos, nitratos, carbonatos, desechos ácidos y alcalinos, gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).
- Orgánicos: de origen natural como aceites, grasa, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas.

Así mismo, el humo contiene partículas sólidas formadas por condensación, y son comúnmente óxidos metálicos formados por calentamiento en metales de altas temperaturas o por metales en fusión.

El humo también se puede formar por la volatilización de materias orgánicas sólidas o por la reacción de sustancias químicas. Veamos a continuación una tabla que refleja los tipos de contaminantes que se generan en determinadas industrias y las consecuencias o riesgos que esto implica para las personas que están expuestas, los seres vivos, en general y medio ambiente.

Industrias	Tipos de contaminantes	Consecuencias
De cloro	Sustancias cloradas se utilizan en plaguicidas, disolventes, papel, en plásticos, como el PVC, hexaclorobenceno, entre otros.	Actúan a nivel del cerebro disminuyendo la actividad de éste (anestésicos o narcóticos).  El hexaclorobenceno (HCB), es la sustancia química más tóxica y persistente de este grupo. También actúa como disruptor hormonal. Frecuentemente se les relaciona con afecciones al hígado, tiroides y sistema nervioso central.

Papelera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compuestos reducidos de azufre: descargados a la atmósfera.</li> </ul>	Causan severos problemas de olor.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dioxinas: blanqueado de la pulpa de papel. Son bioacumulables en la cadena alimenticia.</li> </ul>	Cáncer, daños al sistema inmunológico, reproductor, endocrino y nervioso. Efectos biológicos sobre los ecosistemas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AOX (Haluros Orgánicos adsorbibles): presente en las aguas eliminadas</li> </ul>	Letales para peces (trucha) después de 3 ó 4 semanas de exposición.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resinas y ácidos grasos: componentes del efluente del tratamiento termomecánico de la pulpa.</li> </ul>	Modificaciones (resinas) en el comportamiento de invertebrados benthicos.

<p>Textil</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acabado con resinas, principalmente a base de formaldehído.</li> <li>• Tinturas sulfurosas del algodón y sus mezclas.</li> <li>• Blanqueado con dióxido de cloro</li> <li>• Reducción de colorante con hidrosulfito</li> </ul>	<p>Problemas de olores frecuentes</p>
---------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------

Textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alquifenoles (nonifenoles, etoxilados y octifenoles): utilizados para procesos de lavado y teñido.</li> </ul>	<p>Tóxicos para la vida acuática, persistentes en el medioambiente y bioacumulativos en los tejidos corporales. Son similares a las hormonas naturales como el estrógeno, es decir, son disruptores hormonales de carácter sexual en algunos organismos (por ejemplo, la feminización de peces).</p>
	<p>Ftalatos (ejemplo: dibutil ftalato): utilizados para ablandar el PVC (el plástico de cloruro de polivinilo). También en el cuero artificial, en el caucho, en el PVC y en algunos tintes.</p>	<p>Tóxicos para la reproducción en mamíferos, ya que puede interferir con el desarrollo de los testículos en los primeros años de desarrollo.</p>

Textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difeniléteres polibromados (PBDE): utilizados para reducir la inflamabilidad del producto.</li> </ul>	<p>Persistentes en el medioambiente y bioacumulativos. Algunos PBDEs son capaces de interferir en los sistemas hormonales implicados en el crecimiento y en el desarrollo sexual.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tricloroetanol (TCE): utilizado para disolver otras sustancias durante la fabricación y el lavado de tejidos.</li> </ul>	<p>El TCE es una sustancia que agota la capa de ozono y que puede persistir en el medio ambiente. También afecta el sistema nervioso central, el hígado y riñones. Desde 2008, la UE ha restringido severamente su uso, tanto en productos como en lavado textil.</p>

Textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pentaclorofenol (PCP) y sus derivados son utilizados como biosidas en la industria textil</li> </ul>	<p>El PCP es altamente tóxico para los seres humanos y puede afectar a muchos órganos. También es altamente tóxico para los organismos acuáticos. La UE lo prohibió en 1991 y ahora se restringe la venta y el uso de todos los productos que contienen esta sustancia.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parafinas cloradas de cadena corta (PCCC): utilizadas para el acabado de cuero y textiles.</li> </ul>	<p>Altamente tóxicas para los organismos acuáticos, no se degradan fácilmente en el medio ambiente y tienen un alto potencial para acumularse en organismos vivos.</p>

<p>Textil</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metales pesados (cadmio, plomo y mercurio), se han utilizado en ciertos tintes y pigmentos. El cromo (VI) se usa en ciertos procesos tex-tiles y en el curtido del cuero.</li> </ul>	<p>Pueden acumularse en el cuerpo a lo largo del tiempo y son altamente tóxicos, con efectos irreversibles, incluyendo lesiones del sistema nervioso (plomo y mercurio) o los riñones (cadmio). El cadmio está asociado a enfermedades cancerígenas. El cromo (VI) es altamente tóxico incluso en concentraciones bajas, incluyendo a muchos organismos acuáticos.</p>
---------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

En fin, las aguas residuales de dichos procesos, a menudo, son tóxicas y pueden contaminar vías fluviales importantes. Estas peligrosas descargas, pueden afectar negativamente la salud humana, la fauna y el medio ambiente.



## **1.6 Causas de la contaminación, riesgos, impacto y alternativas**

La contaminación resulta de muy variados actos, desde derrames inadvertidos y accidentales, hasta descargas tóxicas con intenciones delictivas. Independientemente de la causa, la contaminación, por lo general, es un subproducto de las actividades económicas y sociales: cultivos, construcción de hogares confortables, aprovisionamiento de energía y transporte, fabricación de artículos, aprovechamiento de la energía atómica y nuestras funciones biológicas básicas (excreciones). (López, et al.:1996).

Como ya se ha dicho, es a partir de la revolución industrial que empiezan a suscitarse los problemas de contaminación. Los seres humanos hemos agregado al ambiente una gran cantidad de productos químicos y agentes físicos, como consecuencia de la sobreexplotación de los recursos naturales, especialmente los energéticos.

Es así que, los problemas de la contaminación se han vuelto más opresivos con los años, tornándose en una seria amenaza para los equilibrios ecológicos y por ende para la supervivencia de la humanidad. Los factores más visibles son la explosión demográfica, la que provoca la expansión del consumo de materiales y energía per cápita. Esto conlleva, a un incremento sistemático de desechos que son introducidos a la atmósfera, el agua y el suelo.

Así mismo, materiales muy utilizados, como latas de aluminio, envases de plástico y de vidrio, así como una ingente cantidad de productos químicos orgánicos sintéticos que no son biodegradables.

Es decir, que resisten el ataque y la descomposición de los saprofitos (bacterias y hongos) y los descomponedores de detritos (materia orgánica parcialmente descompuesta); acumulándose en el medio.

Ahora bien, es importante observar la extensión y la diversidad de la contaminación. Cualquier parte del ambiente es susceptible, es decir, vulnerable a ser afectada y casi todo es contaminante. El único criterio es que la adición del contaminante causa alteraciones indeseables.

Así pues, el efecto de dichas alteraciones podría ser en buena medida estético, por ejemplo, el aire enrarecido que oculta un paisaje lejano o la basura que afea los acotamientos (límites) de las carreteras, o daña todo un ecosistema (la extinción de un pez o la tala de un bosque), o incide en la salud humana (desechos tóxicos que contaminan el suministro de agua, o el aire contaminado que causa enfermedades).

Así mismo, los efectos van de los muy localizados (digamos, la contaminación de un sólo pozo) a los mundiales.

Cabe destacar, que estamos acostumbrados a pensar en la contaminación como la introducción en el ambiente de materiales artificiales.

Sin embargo, también causa alteraciones indeseables la adición de demasiados compuestos naturales, como los fertilizantes orgánicos que van a dar a los arroyos y los ríos, así como el dióxido de carbono que se emite a la atmósfera, cuyo incremento provoca el denominado efecto invernadero intensificado.

En este orden, nuestro concurso para remediar los problemas de contaminación presentes y futuros, es paralelo al concepto de desarrollo sostenible. Esto implica la adaptación de los medios para satisfacer nuestras necesidades actuales, de modo que manejemos "los desechos" en formas que no causen alteraciones, ni pongan en riesgo a las generaciones venideras.

En cada caso, la estrategia general debe ser:

- Identificar el material o los materiales que causan la contaminación (la alteración indeseable).
- Identificar el origen de tales contaminantes y las fuentes de las emisiones.
- Establecer y poner en práctica medidas para evitar que dichos contaminantes ingresen al ambiente.
- Establecer y poner en práctica opciones alternativas para la satisfacción de necesidades, que no produzcan residuos contaminantes (prevención de la contaminación con un enfoque de química verde).

En esencia, se considera que la estrategia para enfrentar las amenazas derivadas de la contaminación, consiste en reconocer el principio fundamental de la sostenibilidad: los ecosistemas se libran de los desechos y reponen los nutrientes reciclando todos los elementos. En este sentido, se evita tanto la contaminación como el agotamiento de los recursos.

En contraste con el principio de la sostenibilidad, se ha dicho que los seres humanos hemos creado un sistema basado en un flujo unidireccional de los recursos, de extracción, procesamiento, utilización, y desecho. Por ejemplo, este flujo es más evidente cuando observamos que los recursos se emplean para fabricar productos que terminan en el basurero (desechos domésticos e industriales no biodegradables que degradan el suelo y el agua).

No obstante, el flujo unidireccional de los recursos se aplica de manera similar en términos de los minerales, nutrientes básicos que sustentan la vida, como nitrógeno, fósforo y potasio. Éstos, son suministrados a las plantas en los fertilizantes sintéticos con el fin de incrementar los registros productivos, pero los residuales, provocan, entre otros factores, salinización de los suelos y alcanzan los cuerpos de agua por escorrentía superficial causando procesos de eutrofización.

En fin, nuestro sistema humano moderno ha sido muy poco capaz de imitar el ciclo natural de los nutrimentos. En cambio, los retiramos del suelo, los hacemos pasar por las cadenas alimentarias humanas y los desechamos en las corrientes de agua, de las que casi no regresan.

Además, grandes cantidades de nutrientes en forma de fertilizantes aplicados a los campos de cultivo, prados y huertos no entran a la cadena alimentaria, sino que se deslavan o lixivian hacia los cursos de agua.

Así pues, debemos comprender que, si no reflexionamos y actuamos a tiempo, el riesgo de que desaparezcamos se torna cada vez más probable. Es vital que, consideremos soluciones prácticas para mitigar progresivamente la problemática de la contaminación ambiental, la que ha venido aumentando, como se mencionó antes, a niveles inimaginables con consecuencias que podrían derivar en una catástrofe ecológica.



## **1.7 Principales efectos de los contaminantes sobre la salud humana**

Existe una gran cantidad de sustancias químicas que ponen en riesgo directamente la salud de las personas. Este efecto depende, principalmente, de los siguientes factores: concentración del compuesto a la que se encuentra expuesta la persona; edad (niño, joven, adulto o anciano) y tiempo de exposición. De igual manera, los contaminantes pueden presentar efectos a corto, mediano y largo plazo en la salud del individuo.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito, a modo de ejemplo, nos referiremos al efecto que tiene el monóxido de carbono (CO) sobre la salud de las personas, el cual depende de la concentración y duración de la exposición.

Este compuesto es un gas contaminante que se origina por la combustión ineficiente de los combustibles utilizados por el parque automotor.

Ahora bien, el CO afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo y su efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta con la altura o cuando se padece de anemia. La exposición a este gas puede agravar las enfermedades del corazón y los pulmones. El peligro es más perceptible en niños de menos de una semana de nacidos, niños con edades de entre una y tres semanas, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas. La inhalación prolongada de CO puede producir la muerte. (Moller R. 2006).

Partiendo de las características de la contaminación, que enunciamos al inicio de este apartado, las sustancias nocivas a la salud se pueden clasificar según su efecto en: tóxicos, carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos.

## **Tóxicos**

Generan, principalmente, alteraciones en el sistema nervioso central. Los compuestos que producen este tipo de efecto son conocidos, generalmente, como "neurotoxinas", las cuales atacan las células nerviosas; dichos compuestos proceden de descargas al ambiente provenientes de actividades industriales y de agricultura (pesticidas, fertilizantes, PBCs, metales pesados, dioxinas, etc.).

También pueden provenir de fuentes naturales y de compuestos biológicos, como la tetrodotoxina (se trata de un compuesto amino, perhidroquinazolina) de origen principalmente marino (ej. pez globo) y el ácido domoico (amino ácido cristalino, soluble en agua) de mejillones contaminados. (Arlien-Søborg y Simonsen, sf).

En relación a las neurotoxinas, Ramírez, A. (192008), afirma que la toxicidad del mercurio está directamente relacionada con su estado químico y que el metilmercurio es la forma más nociva, con efectos neurotóxicos en personas adultas y en los fetos de madres expuestas.

Así mismo, afirman ArlienSøborg y Simonsen (sf), que las exposiciones a sustancias químicas neurotóxicas de corta duración o a dosis bajas pueden causar cefaleas y mareos, siendo el efecto reversible.

Al aumentarse la dosis, pueden aparecer alteraciones neurológicas, y eventualmente producirse alteraciones morfológicas irreversibles. La figura 10 muestra los efectos neurológicos y de comportamiento como resultado de la exposición a agentes químicos neurotóxicos.

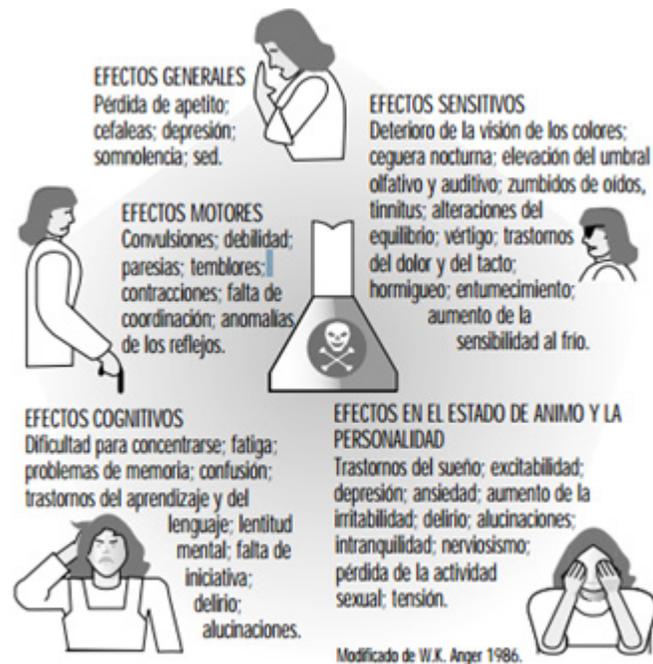


Fig. 10. Fuente: <http://goo.gl/Yz15wF>

A continuación, se definen algunos términos utilizados en la figura 10, con los que no estamos muy familiarizados, puesto que no son de uso frecuente.

- **Paresia:** es la pérdida de una parte de la motricidad de uno o varios músculos del cuerpo, de forma temporal o permanente, contrario a la parálisis, que es la pérdida total de la motricidad.
- **Tinnitus:** denominado "zumbido en los oídos" es un fenómeno perceptivo que consiste en notar golpes o sonidos en el oído, que no proceden de ninguna fuente externa.

## Cancerígenos

Como su nombre lo indica, generan crecimiento incontrolable de cáncer (tumores) en ciertas células, multiplicándose rápidamente. Este tipo de efecto es producido por compuestos químicos, radiación, o algún tipo de virus al que fue expuesto el individuo.



Fig. 11 Fuente: <http://goo.gl/7fMFtb>

La carcinogénesis se considera como un efecto a largo plazo, debido a que tarda aproximadamente entre 10 y 40 años en que se presenten los primeros síntomas de la enfermedad. Según la Organización Mundial de la Salud, la principal causa por la que se presentan tumores es por el humo de cigarrillo (aproximadamente 35 al 40 por ciento de los casos de cáncer) y por contaminación del medio ambiente (entre 1 y 10 por ciento del total de casos). Otras fuentes son las dietas personales (5-15 por ciento) y por factores genéticos del individuo (10-20 por ciento).

A continuación, mostramos una imagen de fetos de dos madres fumadoras que fueron sometidas análisis. Los mismos muestran una tasa significativamente más elevada de movimientos de la boca y se tocan más la cara con sus manos.



Fig. 12. Fetos de madres fumadoras. Fuente: <http://goo.gl/2zgoxE>

Al acercarse el parto, los bebés se mueven menos, indicando un retraso en el desarrollo del sistema nervioso central, según investigaciones realizadas por la Dra. Reissland en colaboración con las universidades de Durham y Lancaster.

## Mutagénesis

Los mutágenos (fármacos, radiaciones de alta energía, rayos X, rayos UV, exposición directa o indirecta a la radioactividad causada por accidentes nucleares, entre otros) alteran el ADN para producir rasgos hereditarios, aunque la mutación es un proceso natural que ocurre incluso en ausencia de sustancias xenobióticas (sustancias extrañas), la mayoría de las mutaciones son dañinas.



Fig. 13. Efectos mutacionales en recién nacidos, hijos de padres que estuvieron expuestos a algún nivel de radiación.

Fuente: <http://goo.gl/l8zNRL> y <http://goo.gl/pdX9wa>

Los mecanismos de mutagenicidad son similares a los de carcinogenicidad y los mutágenos causan también a menudo defectos del nacimiento.

A continuación, describimos dos ejemplos, que han marcado la historia de la humanidad en relación con la mutagénesis:

El caso de bombardeo atómico que arrasó de un sólo golpe a las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. Este terrible evento ocurrido en 1945 provocó la muerte de más de 400, 000 personas y las secuelas posteriores fueron el desarrollo de procesos mutagénicos en el aparato genético de las personas que sobrevivieron a la exposición y a los altos niveles de radiación. Se estima que para 1950 habían fallecido de cáncer y leucemia 250, 000 personas. Además, los descendientes de los supervivientes nacen con algún tipo de retraso y disminución en el tamaño de la cabeza u otras deformidades.



Fig. 14. Fuente: <http://goo.gl/RIkQyd>

Otro caso dramático, es el del accidente nuclear de Chernobyl (ocurrido en 1986) que afectó a zonas como Ucrania y Bielorrusia, debido al colapso de un reactor nuclear. quienes lograron sobrevivir están padeciendo de enfermedades degenerativas, por ejemplo, los niños nacen con mal formaciones congénitas (cerebros formados fuera del cráneo, manos y pies agrandados, problemas de tiroides, entre otros).

Como podemos ver, estamos rodeados de tóxicos ambientales, que muchas veces son imperceptibles para nuestros sentidos, pero tienen un efecto acumulativo y amenazan nuestra salud. Las acciones del ser humano, a veces con fines bélicos, otras con fines pacíficos, que pueden tener consecuencias catastróficas, tal es el caso del bombardeo atómico en Hiroshima y Nagasaki y el accidente nuclear de Chernobyl.

Por estas acciones y por el "progreso" con la supuesta intención de mejorar las condiciones de vida de las naciones, es que se viene degradando el medio ambiente.

Comprometiendo seriamente nuestra supervivencia y la de nuestro planeta. A sí pues, la misma naturaleza nos está cobrando con creces nuestras malas prácticas, la cuestión es ¿quiénes más, ¿quiénes menos?

En fin, la reducción de la concentración de los contaminantes radica en políticas encaminadas a limitar las emisiones desde las fuentes productoras, reducir el tráfico, utilizar automóviles menos contaminantes, controlar las emisiones industriales, cambio de la matriz energética, entre otras alternativas.

Ello, ante la evidencia, cada vez más clara, de que a través de una adecuada gestión de los riesgos podemos reducir desastres de toda índole (amenazas naturales, socio naturales y antrópicas). Pues, como se suele afirmar, la conservación del medio ambiente es una cuestión estratégica para la humanidad.

## Sugerencias de aprendizaje

Con este capítulo hemos intentado brindarle un panorama general acerca de los problemas ambientales, derivados de la contaminación ocasionada por la introducción de sustancias nocivas para el entorno, y que se constituyen en una amenaza para el equilibrio de los ecosistemas.



Ahora bien, quizá usted como futuro ingeniero/a ambiental se esté preguntando ¿para qué y por qué un curso de Química ambiental? Con el propósito de responder a esta interrogante y a fin de profundizar sobre los contenidos y por ende enriquecer sus aprendizajes, le invitamos a que reflexione, discuta y analice en su equipo de trabajo, desde una perspectiva crítica, sobre las actividades sugeridas a continuación, las que puede consignar en su texto paralelo.

- Redacte un breve resumen acerca del concepto, objeto e importancia de la Química Ambiental.
- Elabore su propio concepto de contaminación e ilústrelo con un dibujo donde se reflejen los riesgos de esta condición.
- Observe durante una hora a cada uno de los miembros de su familia sobre las acciones que realizan éstas y describa si los mismos contaminan el agua, aire y suelo y/o si están a favor del Medio Ambiente.

- Explique qué acciones antrópicas pueden aumentar nuestra vulnerabilidad frente a las amenazas por contaminación.
- Fundamente la siguiente afirmación: "La contaminación ambiental representa una de las amenazas más severas para la población infantil en los centros urbanos del mundo".
- Describa una situación en donde esté implicado un problema de contaminación. Indique de qué tipo de contaminación se trata y que característica presenta el contaminante.
- En el problema de contaminación que usted ha identificado proponga posibles alternativas para su solución como medidas de mitigación y prevención.
- Observe y describa lo que sucede en la imagen de la página siguiente.

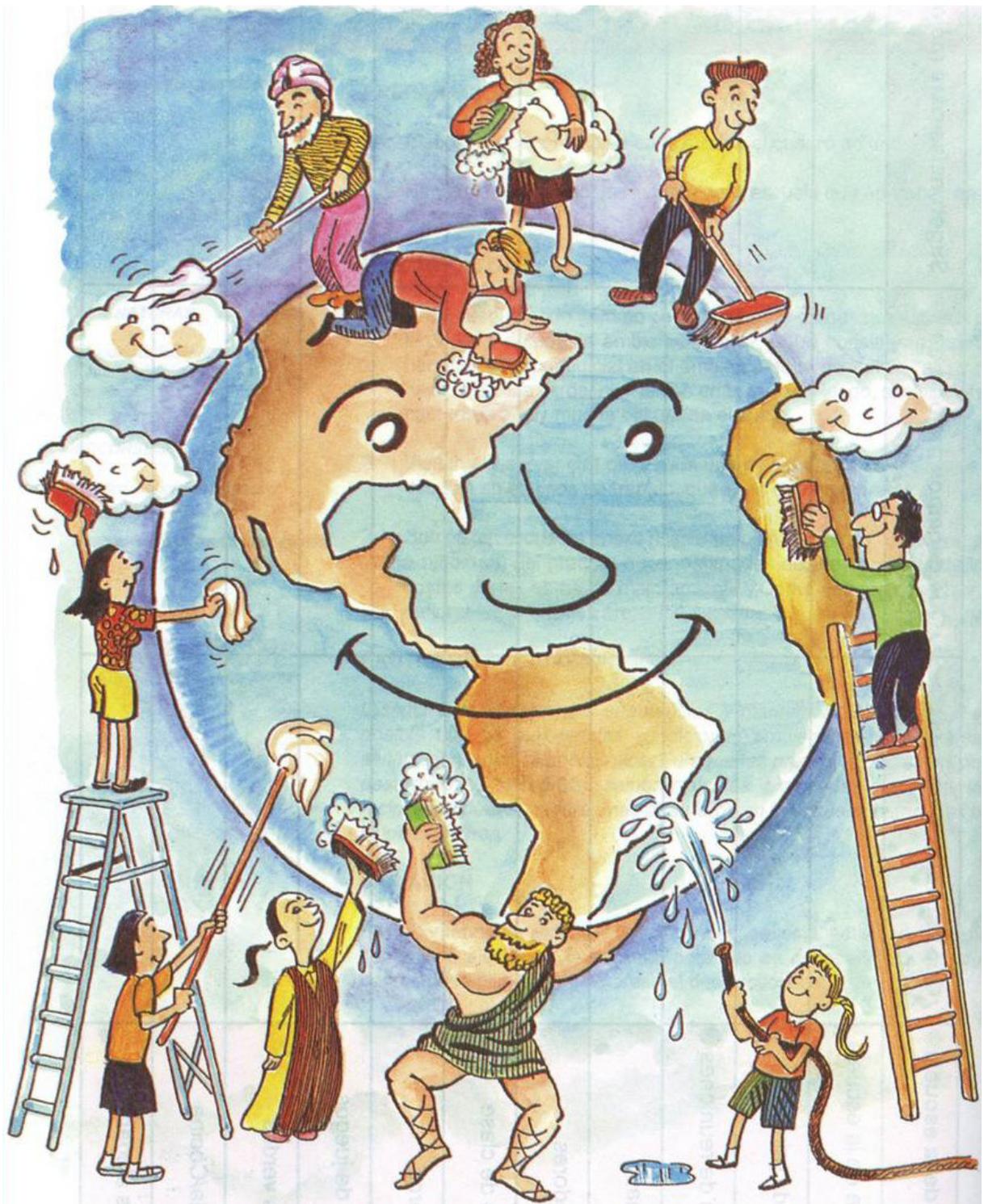
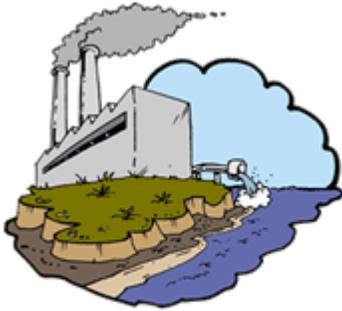


Fig. 15. Fuente: López, J. et al, 1996.





# Capítulo 2

## Contaminación hídrica

Fuente: <http://goo.gl/7fBSgH>



### 2.1 Importancia y propiedades del agua

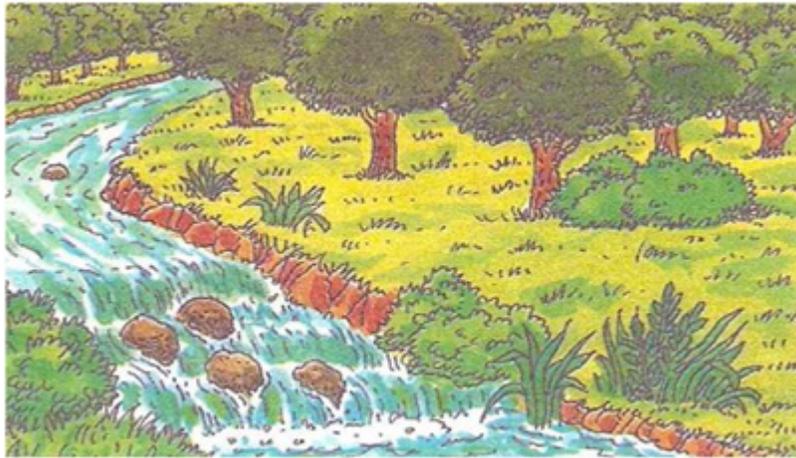
Continuando con el recorrido del aprendizaje emprendido en relación a la contaminación ambiental, abordaremos en este capítulo los aspectos relacionados con la contaminación hídrica descritos en la ubicación temática de este texto. Iniciemos pues, reflexionando sobre el siguiente pensamiento:

*"Desequilibramos todos los grandes y pequeños sistemas hídricos, acentuando las sequías desoladoras y las inundaciones catastróficas; por la contaminación desenfrenada, perderemos muy pronto la poca vida de los últimos manantiales y así preparamos la eliminación de todas las formas de vida acuáticas, inclusive en los océanos."*

*Josef Lutzenberger (Ecologista)*

Es bien sabido por todos que, no podemos vivir sin agua. Ella es tan necesaria como los alimentos que ingerimos y como el aire que respiramos.

Pues como se afirma, es esencial para el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Indiscutiblemente la vida se inició en el agua, esta fue el medio inicial para su desarrollo por las características especiales de sus moléculas y sus propiedades únicas (solvente universal, sus convenientes valores de punto de fusión, punto de ebullición, punto de congelación, calor de vaporización y tensión superficial). Como soporte para la vida acuática, es importante para el desarrollo de múltiples formas de vida, tanto microscópicas como macroscópicas.



**Fig. 16:** Ecosistema acuático en un estado de conservación de buena calidad.

Aunque los organismos terrestres han desarrollado órganos especializados para vivir fuera del agua, ésta es la molécula más abundante en todos los seres vivos, los cuales se encuentran conformados de 70 a 95% por este líquido.

Se estima que los seres humanos necesitamos de 2-3 litros de agua potable para mantener el equilibrio hídrico.

Ahora bien, la capacidad de disolución de diferentes sustancias convierte al agua el medio de transporte ideal de muchos materiales tanto dentro de los organismos como en la biosfera. En los animales, la sangre, la linfa y la orina son tres líquidos con altos contenidos de agua que transportan sustancias dentro de estos seres vivos. Todos los mamíferos y algunos reptiles se "refrigeran" eficientemente perdiendo calor por evaporización del sudor; gracias al elevado calor de evaporización del agua que conforma sus cuerpos.

Las plantas superiores son capaces de transportar elementos nutritivos en disolución desde las raíces hasta las hojas, por el elevado grado de cohesión interna del agua líquida, a causa de la existencia de enlaces de hidrógeno. Muchas de las propiedades biológicas de las proteínas y los ácidos nucleicos, derivan de sus interacciones con las moléculas de agua del medio que las rodea. Todas las reacciones químicas que se producen en las células tienen lugar en solución acuosa. El agua se encuentra involucrada en los importantes procesos metabólicos de los seres vivos: la fotosíntesis y la respiración celular.

A pesar de todo lo descrito anteriormente, el agua de consumo es un bien que empieza a ser escaso, debido al aumento creciente de la población mundial y a la relativamente poca disponibilidad de este preciado líquido. En este sentido, el agua dulce está fundamentalmente concentrada en lagos, ríos y lagunas, en una proporción que no llega al 0.5% del agua total presente en la biosfera.

La situación es más problemática si se tiene en cuenta que una buena proporción de estas aguas superficiales están contaminadas por el vertido indiscriminado de residuos generados por la actividad del ser humano en centros urbanos e industriales.

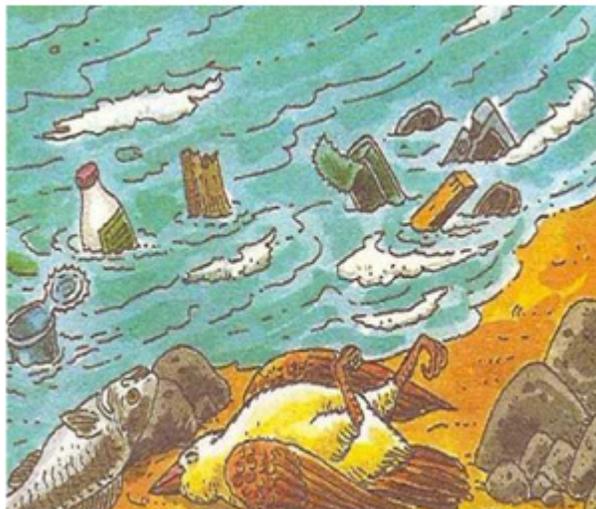
Actualmente, el agua insalubre contaminada por fuentes naturales o humanas, sigue causando graves problemas a las personas que se ven obligadas a usarla, tanto para beber como para la irrigación de hortalizas y otras plantas comestibles crudas (Manahan, 2007).

Como podemos ver, el uso indiscriminado del agua en las actividades antes mencionadas, constituye una amenaza para la disponibilidad de agua potable. Esto, implicaría recurrir a costosos métodos de tratamiento para extraer los residuos y evitar daños indirectos en el ecosistema.

De hecho, el agua de ríos y torrentes es un vehículo de transporte de los residuos, de tal manera que, si no se depura, éstos van a parar, en último término, al mar.

En realidad, el mar representa, actualmente, uno de los medios que dispone el ser humano para deshacerse de los residuos que genera. También, tiene mecanismos biológicos y fisicoquímicos de autodepuración, es así que admite en su seno, un cierto aporte de residuos sin perjudicar el equilibrio ecológico.

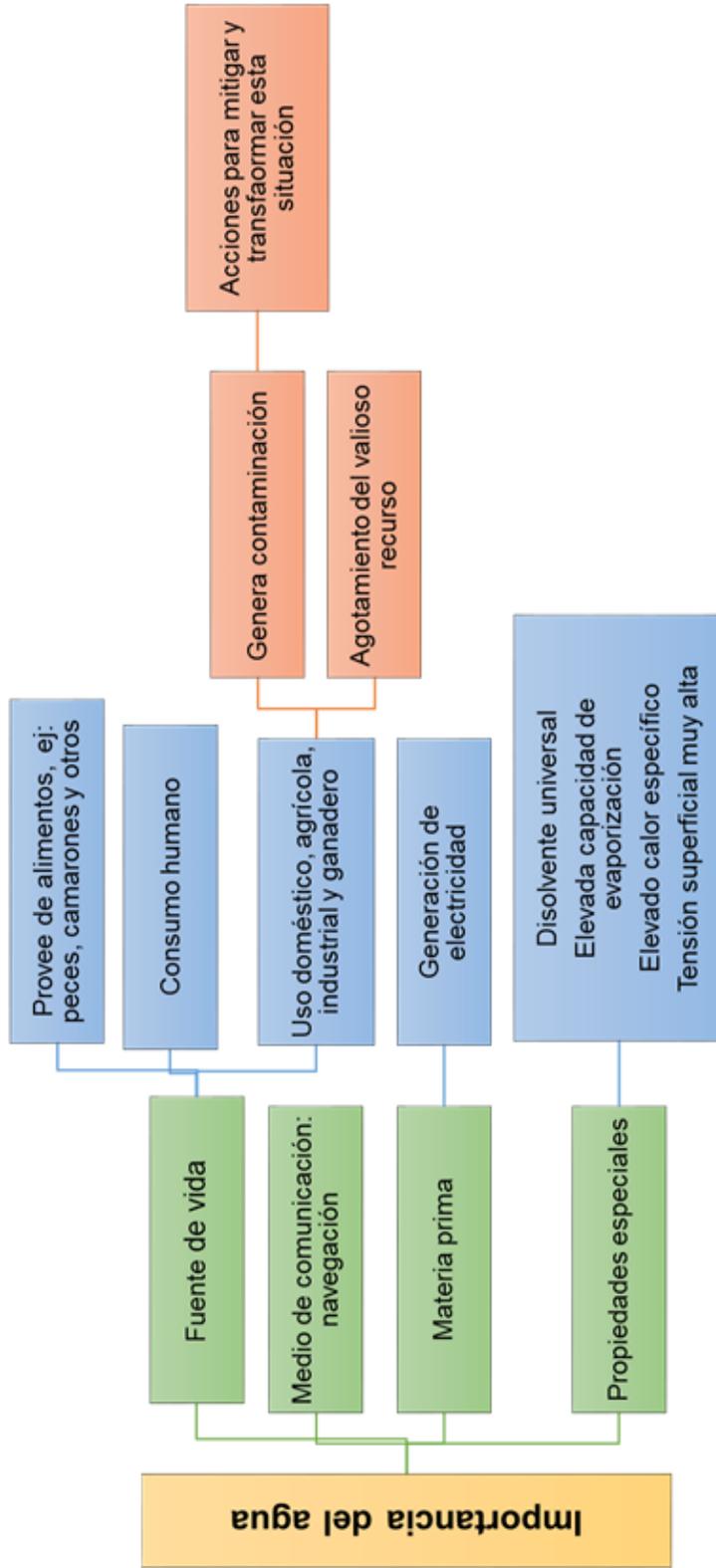
No obstante, su capacidad autodepuradora tiene un límite y, sobrepasado éste, se pueden originar desastres ambientales.



**Fig. 17. Desastre ocasionado por alto nivel de contaminación hídrica.**  
Fuente: López, J. et al, 1996

El mar es una fuente de riquezas de tipo mineral y orgánico, prácticamente inagotable. De ahí, la necesidad de realizar acciones dirigidas a mitigar los efectos de la contaminación que irresponsablemente hemos generado. Pues, tal como lo afirman Spiro y Stigliani (2004), las enfermedades originadas por la contaminación del agua siguen constituyendo un azote para la humanidad.

En síntesis, el agua tiene gran importancia en la vida de los seres humanos. Si está contaminada se convierte en un medio con gran potencial para transmitir una amplia variedad de males y enfermedades. Cada día mueren aproximadamente 300,000 personas en todo el mundo por causa de enfermedades hídricas. La Organización Mundial de las Salud (OMS) estima que, en los países en vías de desarrollo, como el nuestro, el 80% de todas las enfermedades son hídricas. En el siguiente esquema podemos apreciar y comprender mejor la relevancia del tópico referido en este apartado.





## 2.2 Procesos químicos en el agua

De acuerdo con Domenéch (1997), el medio hídrico es un sistema dinámico que entra en interacción con el suelo y la atmósfera; en consecuencia, se establecen flujos de materia entre los distintos medios naturales y tienen lugar procesos químicos que alteran la composición de la hidrosfera.

Las reacciones químicas que ocurren en el medio acuático son: los procesos de oxidación-reducción, de complejación, de hidrólisis y, también, los procesos fotoquímicos. Estos procesos son los que, en último término, definen la composición química de las aguas.

### Procesos de Oxidación-Reducción

En relación a los procesos de oxidación-reducción, sólo unos pocos elementos están realmente implicados en este tipo de procesos, principalmente, C, N, O, S, Fe y Mn. La mayoría de estos procesos son, en principio, lentos, acelerándose por intervención de ciertos microorganismos.

La naturaleza de estos procesos depende de la presencia o no de oxígeno disuelto, el cual es el principal agente oxidante en las aguas naturales y es un elemento vital para el desarrollo de la vida en el medio acuático, pero su concentración puede disminuir a causa de la presencia de compuestos oxidables, como por ejemplo la materia orgánica.

### Respiración aerobia



En un medio reductor, es decir, en ausencia de oxígeno, que puede ser el caso de cuando exista un exceso de materia orgánica, cabe señalar la ocurrencia de los siguientes procesos:

### Desnitrificación



### Fermentación



### Formación de metano



En estos procesos, se representa la materia orgánica como  $\text{CH}_2\text{O}$ , que es la mínima unidad. En estos medios anóxicos, pueden actuar otros agentes oxidantes como, como son los óxidos de hierro y manganeso.



Si las aguas llevan disueltas oxígeno, entonces tienen lugar procesos típicos de oxidación, como, por ejemplo, la degradación oxidativa de materia orgánica:



La formación de sulfatos o nitratos:



La formación de óxidos:



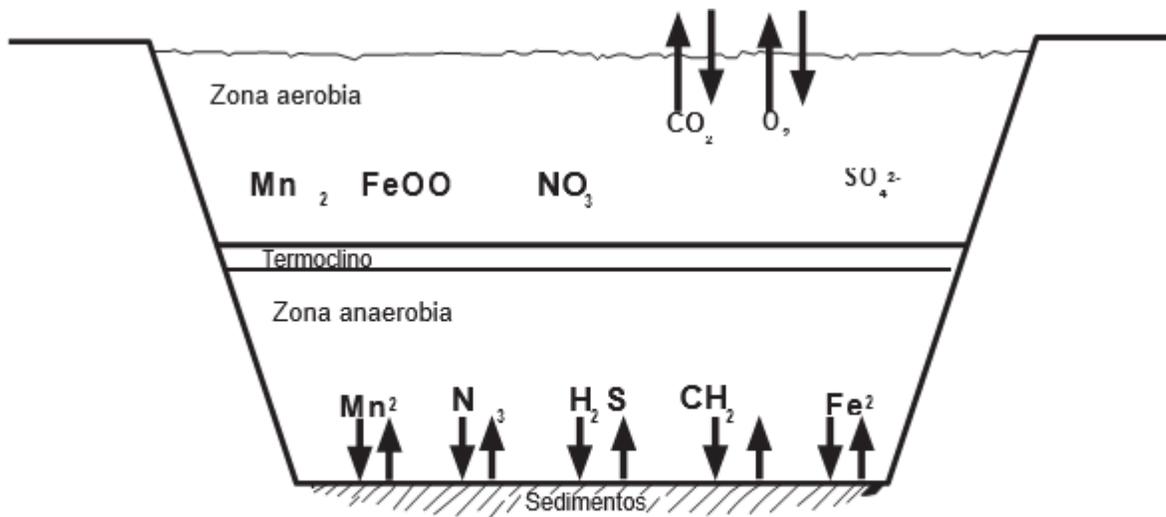
Todos estos procesos pueden tener lugar en un mismo sistema acuático, como por ejemplo un lago o un estanque profundo. En estos ecosistemas pueden distinguirse dos zonas químicamente diferenciales: una región anaerobia, situada en la zona profunda del estanque, y en la que los niveles de oxígeno disuelto son bajos, y otra superficial, la cual intercambia oxígeno y  $\text{CO}_2$  con la atmósfera, formando un medio oxidante.

En la capa superficial tienen lugar reacciones de oxidación como los descritos anteriormente, al mismo tiempo que ocurren procesos fotosintéticos que liberan oxígeno:



Por el contrario, en la zona profunda los procesos que ocurren son los de reducción, a causa de las condiciones ambientales anaerobias que prevalecen. En esta zona, se produce un intercambio de material con los sedimentos. Las aguas profundas de los lagos contienen compuestos reductores, como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), iones ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e iones manganosos ( $\text{Mn}^{2+}$ ). En cambio, en la zona superficial se encuentran especies oxidadas disueltas, como iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{CO}_2$ , así como óxidos en suspensión.

Durante la mayor parte del año el agua en estas zonas superior e inferior del lago o estanque no se mezcla, puesto que la densidad de estas capas es distinta a causa de las diferencias de exposición solar. Este fenómeno se denomina **estratificación térmica** y la capa que separa los dos estratos, termoclino. Así pues, esta capa intermedia actúa de barrera física ocasionando que la composición de los dos estratos sea diferente.



**Fig. 18. Estratificación térmica de las aguas de un lago o estanque.**  
**Fuente: Domenéch, 1997**

### Procesos de Complejación

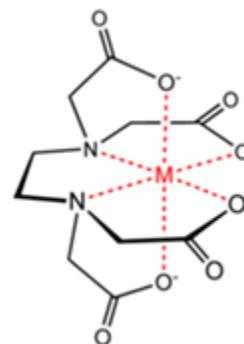
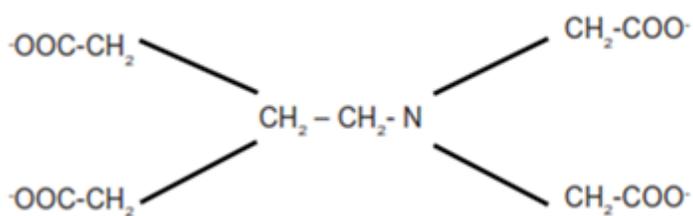
Estos procesos ocurren habitualmente en aguas naturales. En estas reacciones químicas participan especies que disponen de electrones no compartidos (llamadas ligandos), los cuales pueden ser cedidos a otras sustancias, usualmente cationes metálicos:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  etc.; los que presentan déficit de electrones y, en consecuencia, con capacidad de aceptar electrones. Los ligandos más comunes en las aguas naturales son los siguientes:

- $R-COO^-$                       anión carboxilato
- $PhO^-$                             anión fenolato
- $R-NH_2$                           aminas alifáticas y aromáticas
- $R-O-PO_3^-$                       aniones fosfato

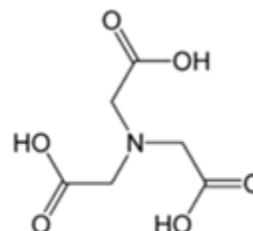
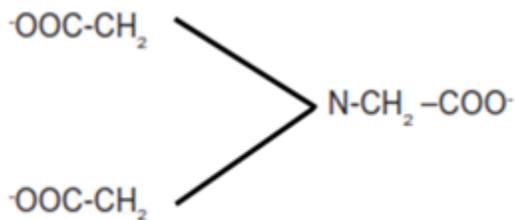
Uno de los agentes complejantes naturales presentes en las aguas son los ácidos húmicos, los cuales contienen varios grupos ligandos en sus moléculas. También los iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) participan en procesos de complejación con iones de metales de transición.

Además de los ligandos naturales, en el sistema acuático pueden estar presentes otros de origen antropogénico. Este es el caso de ciertos agentes complejantes sintéticos, como:

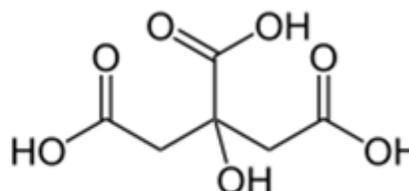
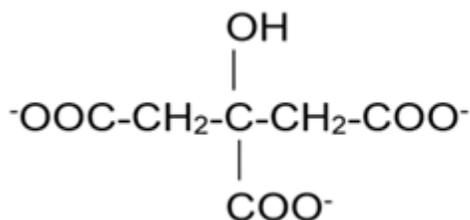
El EDTA (ácido etilendiamintetraacético) forma un complejo octaédrico con la mayoría de cationes metálicos,  $\text{M}^{2+}$ , en solución acuosa.



El NTA (ácido nitrilotriacético)



O el citrato,



Estas sustancias complejantes, se vierten en los cursos de agua en efluentes utilizados en procesos de tratamiento industrial de residuos, en detergentes, en aditivos alimenticios, etc.

La presencia de agentes complejantes en las aguas puede ser negativo, puesto que éstos pueden llegar a disolver precipitados que contengan elementos metálicos tóxicos que contengan, por ejemplo, los sedimentos o los lechos de ríos.

Además, estas sustancias interfieren en los procesos de depuración de las aguas residuales, al dificultar la eliminación de metales pesados.

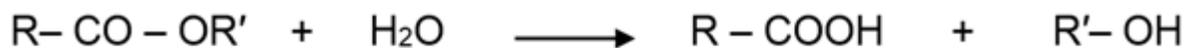
## Hidrólisis

Normalmente en los procesos químicos que se desarrollan en el medio acuoso, el agua actúa de sustentador de la reacción, sin intervenir directamente en la misma. Sin embargo, a veces el agua puede actuar de reactivo; siendo la reacción muy favorable ya que el agua está presente en elevadas concentraciones.

Durante el proceso, el compuesto que sufre la hidrólisis y la molécula de agua se rompen, uniéndose ambos fragmentos entre sí, formando nuevos compuestos químicos. Un caso típico de hidrólisis, es la reacción que ocurre entre un haluro de alquilo y el agua. Por ejemplo, en la reacción del cloruro de etilo, se forma etanol y ácido clorhídrico; el cual permanece disociado en medio acuoso:



Otros tipos de compuestos que sufren hidrólisis son los que tienen grupos carbo-nilos. Veamos algunos ejemplos:



## **Procesos Fotoquímicos**

El proceso fotoquímico es aquel que se desencadena a partir de la absorción de la luz por una especie química fotosensible en disolución. Estas reacciones son relevantes en aguas superficiales, puesto que la luz solar puede penetrar en el medio, alcanzando incluso algunos metros de profundidad, según sea la composición del agua.

Las especies químicas susceptibles de sufrir transformaciones químicas por absorción de luz son aquellas cuyas moléculas contienen dobles enlaces, como, por ejemplo: C=C, C=O. C=N. N=N, N=O, entre otros.



### **2.3 Parámetros de análisis de agua**

Ahora nos referiremos a los parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis de la calidad del agua. Estos aspectos resultan de gran importancia, lo que justifica la realización de dichos análisis para su adecuada caracterización.

Así pues, la calidad del agua es una variable muy importante del medio hídrico en lo que respecta a la caracterización ambiental y la planificación del recurso. De ahí, la importancia de la determinación de indicadores físicos, químicos y biológicos. Esto, con el propósito de obtener una perspectiva general sobre los niveles de intervención derivados de las actividades humanas y así poder tomar decisiones en función de una adecuada gestión de este valioso recurso.

### **2.3.1 Parámetros físicos y propiedades organolépticas**

Los parámetros físicos utilizados para determinar la calidad del agua son la turbidez, sólidos en suspensión, conductividad y temperatura. El color, olor y sabor son propiedades organolépticas. A continuación, describiremos de forma sintetizada cada uno de estos indicadores.

Turbidez: indica la cantidad de materia sólida suspendida en el agua y se mide por la luz que se refleja a través de esta materia. A mayor intensidad de luz dispersa, mayor nivel de turbidez. La materia que causa turbidez en el agua incluye:

- Arcilla
- Fango
- Materia orgánica e inorgánica pequeña
- Componentes de color orgánicos solubles
- Plancton
- Organismos microscópicos

Poch, M. (1999) plantea que la materia presente en el agua se puede encontrar en tres estadios: disuelta (sustancias dispersas de forma homogénea en el líquido, sólo hay una fase), en suspensión (hay dos fases, la correspondiente al líquido y las partículas sólidas) y o en forma coloidal en la que las partículas son de-masiado pequeñas para ser eliminadas por procedimientos de sedimentación o filtración (se encuentra entre los dos estadios).

La turbidez hace que el agua pierda su transparencia y sea opaca. La fotografía muestra agua muy turbia de un tributario (en donde probablemente se estaban realizando trabajos de construcción). Así mismo, durante un aguacero torrencial el agua de escorrentía superficial transporta sedimentos de los alrededores, originando que el agua se ponga de color café (por el lodo), lo que indica altos valores de turbidez. <http://goo.gl/Q1pP0W>



Menor 10 NTU

200 NTU

1500 NT

Fig. 19. Turbidez del agua

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, por sus siglas en inglés (NTU). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Sólidos en suspensión: indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro-mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o a centrifugación del líquido.

Poch, M. (1999) plantea que un método directo para tener una primera aproximación de la cantidad de sólidos disueltos se realiza eliminando el agua y pesando la materia resultante. Para ello, se calienta la muestra a una temperatura de 1050C, para evaporar el agua superficial y a 1800C, a fin de eliminar el agua re-tenida dentro de las partículas. Este procedimiento permite determinar la cantidad de sólidos totales y es la base de los métodos gravimétricos.

Si se quiere hacer una distinción entre sólidos en suspensión y sólidos disueltos, podemos recurrir al método de filtración. De esta forma, una vez hecha la filtración, en el filtrado que darán los solubles mientras que los sólidos retenidos en el filtro serán los sólidos en suspensión.

Ahora bien, para discriminar entre materia orgánica e inorgánica presente en los sólidos en suspensión el procedimiento a utilizar consiste en la aplicación de energía. A partir de 4500C la materia orgánica se oxida transformándose en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y otros gases. De modo que, si los sólidos presentes se calientan a esta temperatura se observa una disminución de materia proporcional al contenido de materia orgánica y el producto final que queda corresponde a los sólidos inorgánicos. (Poch, M. 1999).

**Conductividad:** es la propiedad del agua para conducir la corriente eléctrica. Depende en gran medida en la cantidad de materia sólida disuelta en el agua (como las sales que lleva disuelta). Agua pura, como el agua destilada, puede tener muy poca conductividad y en contraste, agua de mar tendrá una conductividad mayor.

El agua de lluvia frecuentemente disuelve los gases y el polvo que se encuentran en el aire y, por lo tanto, tiene una conductividad mayor que el agua destilada.

La conductividad específica es una medida importante de la calidad del agua, ya que indica la cantidad de materia disuelta en la misma.

A medida que se incrementa la cantidad de sales incrementa la conductividad, limitando el uso del agua para riego. Esta se mide mediante un aparato denominado conductivímetro. El procedimiento standard se basa en la medición de la conductividad en 1 cm<sup>3</sup> de agua a 25 OC, el resultado se expresa en milisiemens.

**Temperatura:** es importante para definir la calidad de un cuerpo de agua, pues afecta a la mayoría de los procesos biológicos que ocurren en un ecosistema acuático. Es por ello, que resulta indispensable para la conservación de la vida acuática (peces, algas, entre otros).

También, es importante para el desarrollo de diversas actividades que realiza el ser humano, tales como la natación o la pesca. Una de las actividades que afecta la temperatura del agua, es su utilización para el enfriamiento de plantas generadoras de energía eléctrica. En el proceso el agua se calienta y al ser liberada a la fuente de origen puede provocar efectos adversos sobre la vida acuática poniendo en riesgo el equilibrio del ecosistema. Además, puede verse afectada la capacidad del agua para la retención de oxígeno.

Así mismo, la temperatura afecta la solubilidad de los gases existentes en el agua, un aumento de la temperatura disminuye dicha solubilidad, tal como ocurre con el oxígeno disuelto. Un aumento de la temperatura producirá dos efectos: por una parte, habrá menos oxígeno disponible y por otra, la velocidad de consumo resultará más elevada. (Poch, M. 1999).

**Color:** es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El agua pura es incolora y sólo aparece como azulada en grandes espesores. En general, el color indica la presencia de sustancias extrañas, parte del mismo puede ser debido a la presencia de sólidos en suspensión o por otra parte a por otra parte debido a la presencia de sustancias disueltas, que dan lugar a lo que se conoce como color verdadero.

**Olor y sabor:** a diferencia del color o de la presencia de sólidos que se pueden estandarizar más fácilmente, el sabor y el olor son muy sensibles a las apreciaciones personales y por lo tanto no muy fiables en la determinación de la calidad del agua. Si se puede afirmar que, sólo el agua pura es inodora e insabora.

No obstante, en el caso de las aguas naturales que, en su trayectoria por el ciclo hidrológico, éstas van adquiriendo compuestos disueltos y/o en suspensión que le confieren un olor y sabor característicos. Por ejemplo: trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables. Así también se conoce que, el CO<sub>2</sub> libre en el agua le da un gusto picante.

### 2.3.2 Parámetros químicos

Es importante señalar, que los contaminantes químicos, que ocupan más nuestra atención, son todos aquellos que poseen propiedades tóxicas acumulativas, como es el caso de los metales pesados y sustancias carcinógenas.

Es bien sabido, que cuando se utilizan desinfectantes químicos para el tratamiento del agua, se forman productos químicos secundarios, que pueden en algunos casos resultar potencialmente peligrosas. Entre éstos, destacan el cadmio, mercurio, plomo, cianuro y cobre. Entre los parámetros químicos que se consideran en función de la determinación del análisis químico del agua.

**pH:** es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. Su medición se realiza fácilmente con un pHmetro. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico.

Cabe destacar que, la contaminación puede cambiar el pH del agua, lo que a su vez puede dañar la vida animal y vegetal que existe en ella. Por ejemplo, el agua que sale de una mina de carbón abandonada puede tener un pH de 2, que representa un nivel alto de acidez, y obviamente dañará a los peces que viven en ella. Es de notar también que, por variación del pH, el agua puede convertirse en corrosiva respecto a los metales.

**Oxígeno disuelto:** es uno de los indicadores de calidad de agua más utilizados para el medio fluvial y es la medida del oxígeno disuelto en el agua, expresado normalmente en ppm (partes por millón). La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura: a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve, y más importante aún, porque ofrece una medida global del estado del ecosistema y también porque este parámetro afecta a todos los procesos biológicos que ocurren en este medio.

Ahora bien, aunque las moléculas del agua contienen un átomo de oxígeno, este oxígeno no está disponible para los organismos acuáticos que viven en nuestras aguas.

Una pequeña parte de oxígeno, cerca de diez moléculas por un millón de partes de agua, se encuentra disuelta en el agua. Este oxígeno disuelto es primordial para la vida de los peces y la fauna del plancton.

Un flujo rápido de agua, tal como se encuentra en un arroyo de montaña, o un río grande, tiende a contener mucho oxígeno disuelto, mientras que el agua estancada contiene poco oxígeno.

La bacteria existente en el agua puede consumir oxígeno al descomponer la materia orgánica. Por lo tanto, la presencia de materia orgánica en exceso en los lagos y ríos incrementa la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, (parámetro que mide la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación de la materia susceptible de ser consumida por medios biológicos) ocasionando disminución del oxígeno disuelto en el agua.

De modo que, la vida acuática tiene grandes problemas para poder sobrevivir en agua estancada con altos niveles de materia orgánica en descomposición, especialmente durante el verano cuando los niveles de oxígeno disuelto se encuentran en sus niveles estacionales más bajos.

**Dureza:** se define como la suma de todos los cationes multivalentes presentes en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua. La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. Se mide en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Valores que pueden oscilar entre 0 y 60 mg/L indican agua blanda, valores entre 60 y 120 mg/L denotan un agua moderadamente dura y valores superiores se asocian a un agua dura.

### **2.3.3 Parámetros biológicos**

Es importante que reconozcamos como un aspecto de gran interés, al momento de evaluar la calidad del agua, la existencia de organismos que nos pueden servir como indicadores biológicos de la calidad del agua. Constituyéndose en una herramienta valiosa, junto a los demás parámetros que se aplican con dicho propósito.

Su aplicación requiere de la identificación y cuantificación de los organismos, basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua.

Poch, M. (1999) plantea que, los indicadores biológicos se basan en la evaluación de los organismos presentes, de la comunidad o de sus alrededores, de forma que permitan obtener una estimación de la calidad del agua.

Ahora bien, el término de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros.

Existen una serie de alteraciones que se pueden dar en un determinado ecosistema acuático, entre estos se pueden mencionar:

- Cambios en la composición de las especies que forman las comunidades acuáticas
- Cambios en los grupos que predominan en un determinado hábitat
- Empobrecimiento en el número de especies
- Alta mortalidad en estadios de vida más sensibles como pueden ser las larvas o los huevos.
- Mortalidad en general de las poblaciones
- Cambios en el comportamiento de su metabolismo o la aparición de deformidades morfológicas

De modo, que la presencia de algunas de estas alteraciones puede brindarnos información muy importante acerca de los problemas relacionados con la calidad del agua.

Una de las ventajas de la utilización de indicadores biológicos, es que requieren de menos equipamientos en comparación con los análisis físicos y químicos.

Además, es posible realizarlos in situ y de forma rápida, si se cuenta con una adecuada preparación o entrenamiento. Sin embargo, si se requiere profundizar en aspectos fundamentales, ejemplo, aspectos relacionados con biología molecular (identificación de alteraciones en el aparato genético), entonces si será necesario equipamiento cada vez más sofisticado.

Entre los indicadores biológicos que se utilizan para determinar o evaluar la calidad del agua, se pueden mencionar los siguientes:

- Microbiológicos (bacterias, protozoarios, entre otros)
- Macrobiológicos (macroinvertebrados, peces, macrofitas, otros)

Así pues, uno de los principales grupos de organismos indicadores de la calidad de agua son los macroinvertebrados. Estos son los más utilizados por ser un grupo heterogéneo que crea la posibilidad de varias respuestas a diferentes tipos de presiones ambientales (uso intensivo de agroquímicos, vertido de aguas residuales, e industriales, deforestación de bosques de galería, entre otros).

La vida sedentaria de la mayoría de estas especies hace posible que se realicen estudios espaciales y sus ciclos de vida relativamente largos, permiten realizar estudios de variación temporales. Por otro parte, la metodología de muestreo de éstos es relativamente fácil y de bajo costo.

Entre los macroinvertebrados encontramos, principalmente, los grupos insecta, mollusca, oligochaeta, hirudinae y crustácea.

Algunas desarrollan toda su vida en el medio acuático (oligochaeta y mollusca), otros, por el contrario, tienen una fase de su ciclo aéreo. Cualquier tipo de substrato puede constituirse en hábitat adecuado para estos organismos (grava, piedra, arena, fango, detritus, plantas vasculares, algas filamentosas, troncos, entre otros). Debido a su enorme diversidad es probable que algunos de ellos respondan a cualquier tipo de contaminación.



## 2.4 Tipos de contaminantes del agua

Como sabemos, el vertiginoso desarrollo industrial está originando la producción de una ingente cantidad de residuos, muchos de los cuales se constituyen en una **amenaza** para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos. Estos residuos son vertidos directa e indirectamente en los cuerpos de agua superficiales, a fin de diluirlos y dispersarlos.

Así pues, la contaminación de nuestros recursos hídricos está produciendo serias alteraciones en las características del agua, afectando negativamente su calidad. De modo que, la contaminación del agua no es más que la introducción por el ser humano, directa o indirectamente, de sustancias contaminantes (ácidos, metales pesados, sales y restos de materiales en descomposición) o energía.

De acuerdo con Manahan, 2007, los contaminantes pueden provenir de una variedad de fuentes, por lo cual es importante tener marcadores de contaminación del agua que sean indicativos de las fuentes.

Algunos herbicidas pueden servir como marcadores de la escorrentía agrícola. Tradicionalmente se usan las bacterias fecales coliformes provenientes de fuentes domésticas, como marcadores de contaminación microbiana o viral. Potencialmente, los metabolitos humanos endógenos, así como los constituyentes de los alimentos, los productos de cuidado personal pueden indicar la entrada de contaminación desde fuentes del alcantarillado.

La cafeína procedente del consumo de café, té y bebidas de cola pueden ser un marcador muy útil de fuentes domésticas de contaminación del agua.

En la actualidad, se pueden encontrar una gran variedad de sustancias químicas, así como la presencia de microorganismos en abundancia, como resultado, también, del vertido a los ríos, lagos, lagunas, entre otros, de aguas fecales procedentes de centro urbanos. A continuación, describiremos los tipos de contaminantes del medio hídrico. (Domenéch, 1997).

#### **2.4.1 Contaminantes Inorgánicos**

El medio acuático es **amenazado** constantemente por actividades antrópicas que introducen una variada gama de especies inorgánicas al mismo.

Una parte de estas especies se encuentran en forma soluble y otra parte, también significativa, se encuentra en forma de partículas en suspensión.

Por su impacto ambiental son más relevantes las especies solubles, dado que en esta forma las sustancias son más móviles y su alcance tóxico mayor.

En este grupo se incluyen metales procedentes de vertidos de la industria metalúrgica y de actividades mineras (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ag o Zn), así como cianuro (CN<sup>-</sup>), utilizado, fundamentalmente, en la limpieza de superficies metálicas, en la industria electroquímica y en la limpieza de superficies metálicas, y en la extracción de minerales.

Estos se incorporan en el medio en forma iónica y, por tanto, soluble.

Aunque muchos de los elementos metálicos son micronutrientes (necesarios para el desarrollo de organismos vivos), al exceder de una determinada concentración resultan perjudiciales.

Muchos de estos elementos tienen afinidad por el S y, atacan los enlaces que forman este elemento en las enzimas, produciendo la inmovilización de éstas.

Por otra parte, metales como el Cd, Cu o Pb en su forma iónica forman complejos con los grupos amino (NH<sub>2</sub>), y carboxílico (COOH), dificultando los procesos de transporte a través, de las paredes celulares. Veamos a continuación las fuentes antropogénicas que generan más emisiones metálicas y el tipo de metales que vierten:

Tabla 3. Tipo de metales vertidos al agua por la acción antropogénica.

Minería	As, Cd, Cu, <u>Pb</u> , <u>Mn</u> , Hg,
Tratamiento de superficies	Cd, Cr, Cu, Ag, Zn
Industria en general	B, Cd, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Mo, Zn, Ni
Aguas residuales urbanas	Cu, B, Al, Fe, Pb, Zn, Ni

En el medio acuático el ión metálico puede:

- Encontrarse libre o formando complejos, con ligandos inorgánicos (Cl<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>) o con orgánicos (EDTA; NTA, ácido cítrico, oxílico, húmico, fúlvi-co, proteínas, etc.).
- Incorporarse a la fase sólida (sedimentos), precipitando como hidróxido, óxido o carbonato o bien a través de procesos de adsorción; absorbido sobre la superficie de minerales arcillosos, coloides orgánicos, óxidos de Fe o Mn, o sobre microorganismos vivos.

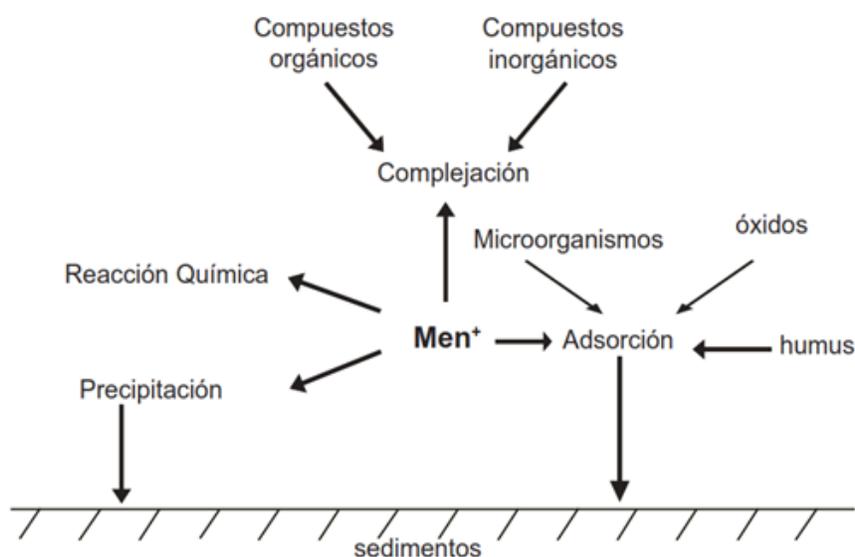


Fig. 20. Procesos químicos en el medio hídrico. Fuente: Domenéch, 1997.

- Sufrir procesos de intercambio catiónico con los ácidos húmicos y fúlvicos o con minerales arcillosos con elevada Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- Sufrir transformaciones químicas (procesos redox, alquilación, etc.)

Lo anterior dependerá, de la naturaleza del metal y de la composición química del medio. Por ejemplo, un 90% de Cu en un río se encuentra formando complejos con polipéptidos, aminoácidos, o con la fracción húmica en disolución.

En ausencia de materia orgánica, precipita como hidróxido al pH del que suele encontrarse el río, también precipita como  $\text{CuCO}_3$ , y puede formar complejos con iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Otros compuestos inorgánicos que suelen estar presentes en las aguas son el  $\text{H}_2\text{S}$ , que proviene de papeleras, industrias textiles, plantas químicas, etc., el ión nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), el cual es vertido por industrias de alimentación, mataderos, etc., el ión sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), que se encuentra comúnmente en efluentes procedentes de la industria química o el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), generado por la descomposición de la materia orgánica nitrogenada presente en el medio.

## 2.4.2 Contaminantes orgánicos

La contaminación del medio hídrico por compuestos orgánicos es cada vez mayor, debido al incremento constante en la producción de sustancias orgánicas sintéticas. Anualmente se producen entre 100 y 200 billones de toneladas. Las fuentes de contaminación más relevantes son:

- Aguas industriales y municipales: contienen una variada gama de compuestos sintéticos, entre los que destacan: hidrocarburos aromáticos (benceno, fenol, polinucleares), compuestos halogenados (alifáticos y aromáticos), pesticidas, detergentes, etc.
- Agua de escorrentía: arrastran contaminantes generados en áreas rurales (pesticidas, residuos animales, fertilizantes) y urbanas.
- Agua de precipitación. Aunque el agua atmosférica es bastante pura, puede contener compuestos orgánicos volátiles (disolventes, hidrocarburos, pesticidas, etc.) o sustancias de peso molecular elevado adsorbidas sobre partículas sólidas (bifenilos policlorados, dioxinas, etc.).

Cabe destacar, que los nutrientes en exceso en el medio acuático el fenómeno de la eutrofización.

Así que, la eutrofización se refiere a toda esta serie de sucesos que comienzan con el enriquecimiento de nutrientes, el crecimiento de plantas acuáticas y de ciertas algas (como las verde-azules (impidiendo que la luz solar alcance mayor profundidad), la muerte del fitoplancton, la acumulación de detritos (materiales vegetales muertos y desechos fecales de animales), el aumento de las bacterias y, por último, el agotamiento del oxígeno y la sofocación de los organismos superiores. (Fig. 21).



Fig. 21. Eutrofización en la laguna Miraflores-Moropotente, municipio



## 2.5 Contaminación que altera el pH y la salinidad del agua

Los desequilibrios en el pH del medio acuático (medios muy ácidos o muy alcalinos), afectan seriamente la integridad de los organismos vivos que lo habitan, así como también actúa negativamente la presencia de un exceso de sales.

Aparte de vertidos puntuales de efluentes con un pH muy distinto al neutro, cabe señalar, quizás, la minería como la actividad que más contaminantes ácidos vierte a las aguas (ácido sulfúrico).

También cabe señalar, ya en un ámbito más global, la acidez de ciertos sistemas hídricos como consecuencia de la lluvia ácida, cuya acidez no ha sido contrarrestada por el medio edáfico. Por el contrario, la actividad humana no es la responsable de que, en algunos casos, el agua sea alcalina; ello cabe achacarlo a procesos naturales, principalmente, la percolación del agua por terrenos determinados tipos de suelos que consumen iones H<sup>+</sup>.

Por otro lado, **la salinidad** de algunos cursos de agua es debido a la acción directa del hombre en innumerables procesos industriales y, sobretodo, en el proceso de purificado en las salinas.



## **2.6 Contaminantes en aguas residuales urbanas**

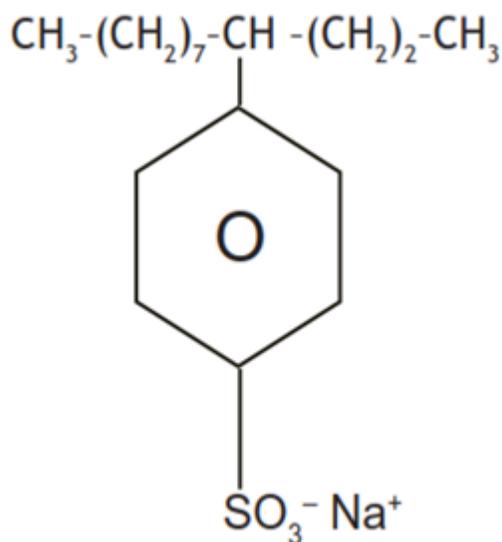
En las aguas residuales urbanas se encuentra materia orgánica a concentraciones elevadas, que consume oxígeno y empobrece las aguas de dicho elemento.

También pueden estar presentes en las aguas residuales compuestos orgánicos difícilmente biodegradables, como compuestos aromáticos, compuestos organoclorados, pesticidas, etc., provenientes de vertidos industriales.

Otros contaminantes que suelen existir en las aguas de desecho, son metales pesados, también procedentes de vertidos de industrias, sólidos, compuestos salinos, aceites, grasas, etc., de procedencia diversa, así como detergentes que proceden, básicamente, del uso doméstico.

Actualmente, más del 70% de los detergentes que se consumen son sintéticos. Estos contienen un surfactante (sustancias orgánicas, que se acumulan en la capa superficial), el cual disminuye la tensión superficial del agua y cuya fórmula molecular consiste en una cadena hidrocarbonada (parte hidrófoba), que contiene un grupo polar como sustituyente (parte hidrófila).

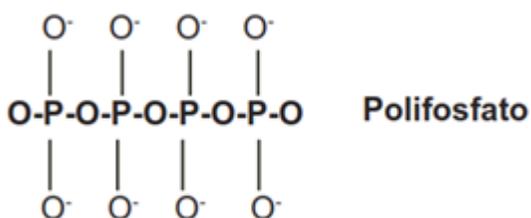
Por ejemplo, un surfactante habitual es el dodecilmencenosulfonato de sodio (ver fórmula estructural).



Este surfactante, al contrario de lo que ocurría con otros utilizados anteriormente y que poseían una mayor ramificación de la cadena hidrocarbonada es biodegradable, de tal manera que, por ejemplo, durante el ciclo de lavado de la ropa se degrada ya un 95% del surfactante.

El mayor problema ambiental asociado a los detergentes, es la presencia de otros compuestos químicos llamados **formadores**, cuya función es enlazar con los iones responsables de la dureza del agua y aumentar, al mismo tiempo, el pH del medio, con el fin de hacer más efectiva la acción del detergente.

Hasta ahora, el compuesto formador habitual en las formulaciones de los detergentes comunes eran los polifosfatos. Estos compuestos están constituidos por uniones poliméricas entre distintos grupos fosfato,  $PO_3^-$ , siendo los oxígenos con carga negativa los que se unen directamente al catión metálico responsable de la dureza del agua.



El fósforo, como se ha mencionado anteriormente, es uno de los elementos nutrientes cuyo exceso en el medio acuático puede originar problemas de **eutrofización**.

Aunque la proporción en que los polifosfatos entran a formar parte en los detergentes comunes no es muy elevado (un 6%), el alto consumo de estos productos puede originar serios problemas en el sistema acuático, si no se procede al adecuado tratamiento de los efluentes vertidos.

Se estima que los detergentes y productos de limpieza en general, contribuyen en un 20 a un 25% de los fosfatos existentes en el ambiente, el resto proviene de vertidos directos de industrias, de la lixiviación de los fertilizantes aplicados al suelo y de los excrementos de animales.

Una posible alternativa a los polifosfatos son las zeolitas, en concreto la zeolita A, que es un aluminosilicato de sodio hidratado que se encuentra en la naturaleza con cierta abundancia.

La proporción Si:Al que se encuentra en este tipo de zeolitas es de 2:1, mientras que el agua está en un 22% en peso.

La zeolita intercambia iones sodio, que posee en su estructura, por iones calcio y magnesio disueltos en el agua.

Así, para unas aguas con una dureza de 120 mg/l en iones calcio y magnesio, con una relación Ca:Mg de 2:1, y a una temperatura de lavado de unos 40°C, sólo es necesaria la presencia de un 0.06%

de zeolita para eliminar el 98 % del calcio durante el primer minuto del ciclo de lavado. Por el contrario, la zeolita no es tan efectiva para disminuir los niveles de magnesio, aunque debe decirse que, al cabo de los diez minutos de lavado, se elimina el 50% de los iones magnesio.



## **2.7 Contaminantes en el agua potable**

Moro A. (2011). Contaminación del agua potable: problemas microbiológicos. Interempresas net. Laboratorios de AQM. Recuperado de <http://goo.gl/t4tW7S>

De acuerdo con Moro, A. (2011), "la contaminación microbiológica es responsable de más del 90% de las intoxicaciones y transmisión de enfermedades por el agua.

Los principales microorganismos que se transmiten a través del agua engloban a las bacterias, virus y protozoos, aunque existen también otros organismos que pueden ser transmitidos en el agua potable, pero su probabilidad de transmisión es muy baja".

Se sabe que, en el abastecimiento, almacenamiento y distribución del agua potable, pueden surgir problemas de contaminación, especialmente microbiológica, entre los microorganismos que pueden ocasionar problemas de contaminación, destacan, coliformes, bacterias, protozoos, virus, entre otros.

A continuación, se describen los principales tipos de microorganismos responsables de la transmisión de enfermedades por el agua.



Fig. 22. el agua que tomamos puede contener gérmenes o patógenos que pueden producir enfermedades como la hepatitis A, enfermedades neuronales y gastrointestinales, entre otras. Fuente: <http://goo.gl/85Gc9q>

## **Protozoos**

*Cryptosporidium* y *Giardia lamblia* son dos de los protozoarios responsables de epidemias en la población. El primero está ampliamente distribuido en la naturaleza y es portado por todo tipo de animales, incluidos por supuesto, animales domésticos.

Es importante destacar, que el *Cryptosporidium* forma esporas, conocidas como ooquistes que le permiten resistir condiciones ambientales adversas y puede vivir largos períodos de tiempo hasta que son ingeridos por un huésped. La sintomatología de este protozoario incluye diarreas, fiebre, dolores abdominales, náuseas y vómitos resultando grave en personas inmunodeprimidas.

La 'Giardia lamblia' al igual que el 'Cryptosporidium' se encuentra en un rango muy amplio de animales donde vive libremente en los intestinos. Este parásito produce la enfermedad conocida como giardiasis cuyos síntomas más comunes, son diarrea acompañada de cólico y un malestar general. Asimismo, existen otros protozoos como Entamoeba histolytica' que causa la disentería amébrica.

## Bacterias

Como sabemos, las bacterias es un grupo de organismos ampliamente distribuido en la naturaleza y es el grupo más importante también en lo que concierne a su presencia en el agua potable. Afortunadamente son pocas las especies identificadas que son patógenas para los humanos, sin embargo, algunas son causantes de epidemias.

La mayor parte de infecciones bacterianas está asociada a la contaminación fecal del agua.

Las bacterias del género Salmonella, Leptospira, Vibrio cholerae, pseudomonas, Escherichia coli, son algunos de los ejemplos de bacterias patógenas para los humanos y que son causantes de epidemias.



Fig. 23. Muchas bacterias son causantes de enfermedades. Como, por ejemplo, tuberculosis, neumonía, leptospirosis, tétanos, fiebre tifoidea, meningitis, entre otras, no menos importantes. Fuente: <http://goo.gl/hrwQR3>.

Tabla 4. Ejemplo de enfermedades en humanos causados por bacterias

Enfermedad	Bacteria
Fiebre tifoidea	( <i>Salmonella typhi</i> )
Fiebre paratifoidea	( <i>Salmonella paratyphi</i> )
Cólera	( <i>Vibrio cholera</i> )
Tularemia	( <i>Brucella tularensis</i> )
Disentería Bacilar	( <i>Shigella spp.</i> )
Gastroenteritis	( <i>Salmonella spp.</i> )
Enfermedad de Weil	( <i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i> )
Infecciones del oído	( <i>Pseudomonas aeruginosa</i> )

Las seis primeras enfermedades están asociadas a contaminación por materia fecal.

Fuente: <http://goo.gl/ruveoA>

## Virus

Como es bien sabido, los virus, aunque no se les considera seres vivos, si pueden reproducirse, aunque para ello requieren estar dentro de células vivas para lograr ese propósito.

Además, pueden vivir en el medio ambiente largos períodos de tiempo de forma inactiva, no obstante, cuando entran en contacto con un ser vivo pueden activarse y completar su ciclo reproductivo. Los virus son causantes de muchas enfermedades, y algunas de las mismas pueden ser letales.

Ahora bien, el agua, por lo general, es contaminada con heces fecales que pueden contener virus. Enfermedades como la hepatitis infecciosa que es producida por virus; así como otras en que los agentes causales son enterovirus, retrovirus, adenovirus, entre otros, se transmiten por el agua. Otros virus producen diarreas y enfermedades respiratorias, como los de la gripe. Un ejemplo clásico es el de la gripe española, que a inicios del siglo XX provocó la muerte de más de 20 millones de personas.

Algunas medidas que es necesario que apliquemos para evitar o disminuir el riesgo de enfermarse, y además de cuidar tan valioso recurso son, por ejemplo:

- Protección de las fuentes de agua
- La potabilización que incluye cloración para eliminar los gérmenes en el agua.
- Disponer de un almacenamiento seguro
- Educar a la población sobre medidas de higiene en el manejo del agua
- Frenar la descarga de residuos tóxicos en los cuerpos de agua, tanto superficiales, como subterráneos, aunque en éstos últimos tardan más tiempo en contaminarse
- Y lo más importante, frenar los procesos de deforestación y el uso de agroquímicos tóxicos en la agricultura y ganadería.

En conclusión, beber agua potable contaminada con algunos de los microorganismos patógenos que hemos descrito en este acápite, constituye un gran riesgo para la salud y, por consiguiente, una amenaza potencial para la bioseguridad de grandes grupos

poblacionales a nivel mundial. Esto justifica, la imperiosa necesidad de la adopción de medidas de salubridad, especialmente todas las orientadas a la gestión adecuada del agua potable, tanto en las fuentes, almacenamiento, distribución y su disposición y uso en los hogares.



## 2.8 Contaminación marina

Tal como se ha afirmado, el mar se encuentra cada vez más contaminado (por su extensión es el mayor receptor de contaminantes) por los vertidos de aguas residuales, plaguicidas, fertilizantes, **petróleo**, metales pesados y residuos tóxicos, ocasionando la muerte de peces y otros organismos, o lo que incluso es peor su **envenenamiento parcial** que luego es transmitido por vía alimentaria a los seres humanos quienes vamos acumulando esos tóxicos en nuestro propio organismo provocando lesiones y enfermedades en muchos casos irreversibles.

El principal vehículo de transporte de residuos hacia el mar son los ríos, los que dan problemas de contaminación significativos en sus desembocaduras.

Por otra parte, los residuos volátiles viajan por la atmósfera incorporados con las masas de aire en movimiento y cuando retornan a la superficie terrestre lo hacen con mayor probabilidad en el medio marino, dado que es más extenso que el continental.

Otras causas que origina contaminación marina son los residuos procedentes de barcos, la exploración del fondo marino y la

contaminación que generan los mismos microorganismos que habitan en el medio marino.

Cabe destacar que la zona más contaminada del océano es la costera, donde la actividad humana ejerce su mayor influencia y tiene lugar una actividad biológica más intensa.

Una buena parte de la contaminación marina se concentra en la capa superficial, encontrándose compuestos hidrofóbicos tóxicos en proporción mayor que en las capas más profundas, como por ejemplos: el DDT, los PCB's e hidrocarburos poliaromáticos, pesticidas. También en las aguas marinas suele encontrarse el ión tributilestaño (TBT), utilizado como componente en pinturas protectoras de la carcasa de los barcos.



## **2.9 Impacto ambiental antrópico sobre el recurso agua**

Como sabemos, el impacto producido en el ambiente, en general, y en el recurso agua, en particular, debido a las actividades propias de nuestra actuación, se ha hecho cada vez más evidente y preocupante. Este impacto es producto de la forma de vida de la sociedad, del manejo irracional del recurso agua y un manejo inadecuado de los residuos.

En este sentido, como ya lo mencionamos, estamos generando grandes cantidades de residuos, producto de nuestras actividades: en el hogar, en el comercio, en fábricas, curtiembres, maquilas, talleres, agricultura, ganadería y otras.

A continuación, presentamos, de acuerdo con Manahan (2007), una tabla que refleja tipos generales de contaminantes del agua, y el impacto sobre la salud humana y el equilibrio de ecosistemas acuáticos.

Tabla 5. Tipos de contaminantes presentes en el agua y sus impactos

Tipo de contaminante	Impacto
Elementos traza y metales pesados	Salud, biota acuática, toxicidad
Metales enlazados orgánicamente	Transporte de metales
Radionúclidos	Toxicidad
Contaminantes orgánicos traza	
Contaminantes orgánicos	Toxicidad biota acuática
Asbesto	Salud humana
Nutrientes de algas	Eutrofización
Sustancias que dan acidez, alcalinidad, salinidad (en exceso) Medicamentos, anticonceptivos, etc.	Calidad del agua, vida acuática
Bifenilos policlorados	Posibles efectos biológicos
Plaguicidas	Toxicidad, biota acuática, fauna
Residuos de petróleo	Efectos en la fauna, contaminación visual
Alcantarillado, residuos humanos y de animales. Materia orgánica medida como DBO.	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Patógenos	Efectos en la salud
Detergentes	Eutrofización, fauna, contaminación
Compuestos carcinógenos químicos	Incidencia de carácter
Sedimentos	Calidad del agua, vida acuática,
Sustancias que dan sabor, olor y color	Calidad del agua, vida acuática, contaminación visual

Ahora bien, la presencia en exceso de compuestos esenciales (N, P, K, etc.) para el desarrollo de los organismos vivos que habitan el medio acuático, es perjudicial, puesto que favorecen fenómenos de eutrofización. Por ejemplo, los nitratos provienen de los fertilizantes arrastrados por el agua de lluvia, o lixiviados a través del subsuelo. Los fosfatos, procedentes del vertido de detergentes, de descargas industriales y de residuos de animales, también producen eutrofización. Otros compuestos cuyo exceso pueden acelerar el crecimiento explosivo de algas y otras especies, son el azufre en forma de sulfato y los iones  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ .

En este mismo orden, hay que mencionar que las industrias cambian la temperatura del agua, ya sea enfriándola o calentándola. El mayor problema es que el agua caliente contiene menos oxígeno que la fría, y el cambio brusco pone en riesgo la vida acuática, en particular a los animales que ya están adaptados a una cierta cantidad de oxígeno.



Fig. 24. Río Estelí. Este es una remanente de agua en el que se pueden apreciar altos niveles de eutrofización. Fuente: propia.

Y bien, el agua puede contaminarse de diferentes formas, aunque la más común en la actualidad es por descarga de agua servida y por desechos orgánicos provenientes de mataderos o cloacas de áreas urbanas en lagos, lagunas, ríos arroyos. Por ejemplo, laguna de Tiscapa, lago Xolotlán, Río Estelí, entre otros.

Como sabemos, el agua es inodora, insabora e incolora, pero hemos cambiado esas propiedades, ocasionando que muchos cuerpos de agua se tornen color marrón, con mal olor y sabor. Accidentalmente o a propósito, hemos vertido millones de toneladas de contaminantes. Los desechos químicos y derrames de petróleo han contaminado las aguas y eliminado miles de especies; contribuyendo a que otras proliferen en forma descontrolada, provocando desequilibrios ecológicos. Por ejemplo, se han encontrado cangrejos y peces muertos, envenenados por cadmio, mercurio, DDT, derrames de petróleo y otros tóxicos.



**Fig. 25. Desastre ocasionado por accidente petrolero provoca mareas negras dañando las poblaciones de peces, aves, entre otros. Fuente: <http://goo.gl/KuUY2b>**

En fin, el impacto ambiental antrópico sobre el recurso agua ha ocasionado serios desequilibrios en este tipo de ecosistemas, provocando desastres ambientales, tales como:

- Pérdida de biodiversidad
- Proliferación de enfermedades
- Degeneración de los organismos por la exposición a mutágenos
- Impedimento de la realización de actividades acuáticas, por ejemplo, pesca y de recreación
- Impedimento del uso del agua para actividades agrícolas, domésticas.

Como podemos ver, el agua es el hábitat y medio de vida de ingente número de especies. De modo que, si su composición se ve alterada, entonces, los seres vivos están expuestos a cambios en sus metabolismos, biomagnificándose los efectos en las redes alimenticias. Esto, en el caso de aquellos contaminantes que tienen un efecto acumulativo.



## **2.10. Riesgos de la contaminación hídrica para la salud**

Ahora, es necesario reflexionar sobre los riesgos de la contaminación hídrica para el ser humano y el ambiente. Manani, W., Suárez, N. y García, C. (2003), plantean que la contaminación de las aguas produce el incremento en la transmisión de aquellas enfermedades en las que el vehículo de diseminación es precisamente el agua.

Entre los patógenos que se diseminan y transmiten a través del agua, tenemos bacterias, virus, protozoarios, etc., que causan enfermedades como el cólera, tifus, hepatitis, gastroenteritis diversas, entre otras. Así mismo, estos autores destacan, que el consumo de aguas contaminadas por hidrocarburos, puede producir daños al sistema nervioso, riñón e hígado.

Por su parte, Ongley (1997), considera que la degradación de la calidad del agua por la escorrentía de plaguicidas, tiene dos efectos principales en la salud humana. El primero es el consumo de pescado y mariscos contaminados por estos químicos y el segundo, es el consumo directo de agua contaminada con plaguicidas. Afirma, además, citando un estudio de Wang y Lin (1995) sobre fenoles sustituidos, que en el mismo se comprobó que la tetraclorohidroquinona, metabolito tóxico del biocida pentaclorofeno, producía en el ADN daños significativos y dependientes de la dosis.

Se conoce que, algunos plaguicidas como el DDT son lipofílicos, es decir, son solubles en agua y se acumulan en el tejido graso de los peces y de los humanos.

Otros, como el glisofato se metabolizan y eliminan a través de las excreciones. (Ongley 1997). Igualmente, productos químicos como los PCB son otros contaminantes químicos muy peligrosos e implican serios riesgos para la salud humana, tal como se mencionó en el capítulo 1, apartado 1.5.

Cabe destacar que, algunos metales pesados como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), son contaminantes peligrosos, dado que penetran en las cadenas alimentarias marinas, y, a través de ellas, se concentran. Esto se ilustra con el ejemplo ocurrido, en los años 20, en la Bahía de Minamata (Japón) con el mercurio orgánico que ocasionó parálisis sensorio-motora, que es letal.

En el caso del desastre de Minamata, el agente fue el metilmercurio que se había acumulado en los peces (principal alimento de la población) procedente de efluvios industriales (aguas residuales). Compuestos orgánicos e inorgánicos de Hg fueron transformados por el plancton y los crustáceos en tiometil-Hg que al ser consumido por los peces formaba en sus músculos metilmercurio-cisteína. Según el sistema de salud: afectó a 169 casos registrados y más de 1,200 estimados.

De igual manera, el cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo de depuradoras, por ejemplo, puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones. (<http://goo.gl/L139pQ>)

En este mismo orden, la contaminación industrial de ríos y lagos ha ocasionado la muerte de grandes cantidades de peces, los que sufren paralización metabólica. Así mismo, los derrames de petróleo sucumben a miles de aves marinas por asfixia, y reducen la actividad fotosintética de las plantas marinas. (<http://goo.gl/L139pQ>).

Un ejemplo relacionado en nuestro país es el caso de la Pennwalt ubicada a orillas del Lago Xolotlán, al que usó como basurero para eliminar los desechos tóxicos, descargándole, a lo largo del tiempo de operación, más de 40 toneladas de mercurio, 600 de ácido sulfúrico y 1.800 de cloro líquido. (<http://goo.gl/yohPGA>).

Finalmente, citando a Ongley (1997), podemos afirmar que el uso indiscriminado de plaguicidas y otros contaminantes orgánicos, se asocian por lo general con efectos, tales como los indicados a continuación:

- Muerte del organismo
- Cánceres, tumores y lesiones en peces y otros animales
- Inhibición reproductiva
- Supresión del sistema inmunitario
- Afectaciones al sistema endocrino (hormonal)
- Daños cerebrales y en el ADN
- Efectos teratogénicos (deformidades físicas observadas en el pico de algunas aves)
- Otros efectos fisiológicos, como disminución del grosor de la cáscara de los huevos
- Exceso de mucílago en las escamas y agallas de los peces, entre otros.

Lo expresado en este acápite, debe llevarnos a un cambio de actitud y de comportamiento.

Esto, para la toma de decisiones en torno a la necesidad de la reducción o prohibición total del uso de sustancias contaminantes, como las que se han mencionado y otras que no se han mencionado, en aras de la protección de la salud humana y por ende de nuestros ecosistemas acuáticos. No olvidemos que, el agua tiene importancia estratégica para el desarrollo en general, y, sobre todo, para nuestra supervivencia, sin agua no es posible la vida.

### **Tratamiento de aguas de consumo y residuales**

Como señalábamos en el acápite anterior, el agua es el vehículo de diseminación de vectores de transmisión de enfermedades y agentes patógenos. De modo que, es de suma importancia un control exhaustivo, así como un correcto y adecuado tratamiento de desinfección que elimine cualquier tipo de riesgo asociado al consumo de agua.

Ahora bien, es importante destacar que en Ingeniería Sanitaria, Química y Ambiental el término tratamiento de aguas refiere al conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuyo propósito es la eliminación o reducción de la contaminación.

La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Como se sabe, las mayores exigencias en lo que respecta al control de la calidad del agua, están centradas en su uso para consumo humano y animal. Con este propósito se realizan tratamientos de potabilización y de depuración de aguas residuales. De modo que, un adecuado tratamiento de las aguas residuales para su posterior reutilización contribuye a un consumo sostenible del agua, siendo una de sus finalidades la mejora de la calidad de vida de la población y de las condiciones ambientales. La imagen siguiente muestra la planta de tratamiento de las aguas residuales de nuestra capital



**Fig.26. Planta de tratamiento de aguas residuales ubicada a orillas del Lago Xolotlán. Esta planta tiene la capacidad de procesar hasta 180 mil m<sup>3</sup> por día. Fuente: <http://goo.gl/GOaugc>**

La planta de tratamiento de las aguas residuales de Managua, forma parte del Programa de Manejo de la Cuenca del Lago Xolotlán, que tiene como objetivo la rehabilitación y ampliación del sistema de alcantarillado de Managua. Con ello, se pretende sanear las aguas residuales de más de 60 empresas industriales y las riberas del manto acuífero de 1,000km<sup>2</sup>. <https://goo.gl/bvHcGn>

En las páginas siguientes describimos, de manera resumida, lo que Spiro y Stigliani (2004) plantean acerca del tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales inicia con una etapa de aireación que elimina el olor mediante la purga de los gases y compuestos orgánicos volátiles disueltos. La aireación también provoca la oxidación del  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ , que forma  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y precipita. Posteriormente, se adiciona sulfato de  $\text{Fe}^{3+}$  o de  $\text{Al}^{3+}$  y cal para regular el pH. Esto origina un precipitado voluminoso de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que atrapa las partículas sólidas suspendidas en el agua. La clarificación del agua se produce al eliminar dicho precipitado.

Con el fin de eliminar los compuestos orgánicos disueltos, se pasa el agua a través de unos filtros de carbón activo, pero como esta etapa es costosa solamente se realiza cuando es necesario. La desinfección del agua es la última etapa del tratamiento, con ella y mediante el empleo de cloro, dióxido de cloro u ozono, se pretende eliminar los microorganismos y suministrar un agua potable saludable.

El tratamiento de las aguas residuales requiere un complejo sistema de pantallas y sedimentadores para eliminar los sólidos. A esta etapa de separación física se la denomina tratamiento primario. La mayoría de las plantas de tratamiento incluyen un tratamiento secundario, que realiza la degradación bacteriana de los com-puestos orgánicos a  $\text{CO}_2$ .

En el mismo, el agua se extiende sobre un lecho de arena en un reactor, lográndose una disminución del 90% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Si no se aplica, el agua residual tendrá un valor de DBO elevado que sobrepasaría la capacidad oxidativa de las aguas receptoras, convirtiéndolas en anóxicas.

Ahora bien, uno de los principales problemas de las plantas de tratamiento es la eliminación de los lodos generados. A pesar de que su composición es mayoritariamente orgánica, y podrían ser excelentes fertilizantes, su aplicación en los cultivos está restringido por la presencia en ellos de metales tóxicos.

Otra alternativa para la eliminación de los lodos es el enterramiento en vertederos, pero a medida que se va saturando la capacidad de los mismos, surge un mayor interés para utilizarlos como fertilizantes. Entonces, surge la necesidad de la disminución de los niveles de contenido metálico en los lodos. De esta forma, si el problema de los metales en los lodos se resuelve, los mismos podrán convertirse en una fuente valiosa para la fertilización de suelos. Esto, con miras a ir reduciendo el riesgo que implica la utilización de fertilizantes químicos en el manejo de los suelos cultivables.

Aunque el tratamiento secundario resulta efectivo para reducir los niveles de DBO, no resulta así para compuestos inorgánicos, en particular,  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Estos iones solubles son vertidos junto al agua residual, provocando la eutrofización de los cauces receptores. Su eliminación requiere un tratamiento terciario, mediante la aplicación de reacciones químicas adicionales.

Así que, la eliminación del fosfato se realiza por precipitación con cal, originando el compuesto insoluble hidroxiapatita,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ . El  $\text{NH}_4^+$  se transforma a la forma volátil,  $\text{NH}_3$  por aumento del pH con cal. posteriormente, y con el objeto de precipitar la cal, se disminuye el pH por adición de  $\text{CO}_2$ . Los compuestos orgánicos residuales que llegan a esta etapa pueden filtrarse con carbono activo; si se quiere agua muy pura puede aplicarse un proceso de desinfección. Todas estas etapas incrementan el costo económico y energético del proceso de tratamiento. La transformación del  $\text{NH}_4^+$  implica un elevado costo energético.

Un proceso alternativo, y que requiere menos energía, es, en una primera etapa, el empleo de bacterias nitrificantes para transformar el  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , y en una segunda etapa, bacterias nitrificantes para convertir el  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$ . Sin embargo, el crecimiento de las bacterias requiere un control riguroso de las condiciones de cultivo. Otra alternativa muy atractiva es pasar el efluente, procedente del tratamiento secundario, a través de un humedal o wetland, donde se realiza la filtración de los nitratos y fosfatos.

La alternativa de un humedal o wetland es novedosa como sistema de tratamiento, ya que permite aprovechar los nutrientes de las aguas residuales para el crecimiento de plantas emergentes con potencial económico. De esta forma se minimiza el impacto ambiental de este tipo de efluentes. Este sistema es amigable con el medio ambiental, y se integra al paisaje natural propiciando incluso refugio a la vida silvestre.

A modo de síntesis, podemos decir, que el tratamiento de aguas



Fig. 27. Humedal o wetland Fuente: <http://goo.gl/S2Xep1>

residuales es un proceso productivo cuyo producto es el agua tratada, siendo una de sus finalidades la mejora de la calidad de vida y del ambiente.

Veamos ahora la figura 28, la cual resume de forma esquemática los distintos tratamientos que se aplican en la descontaminación de las aguas residuales.

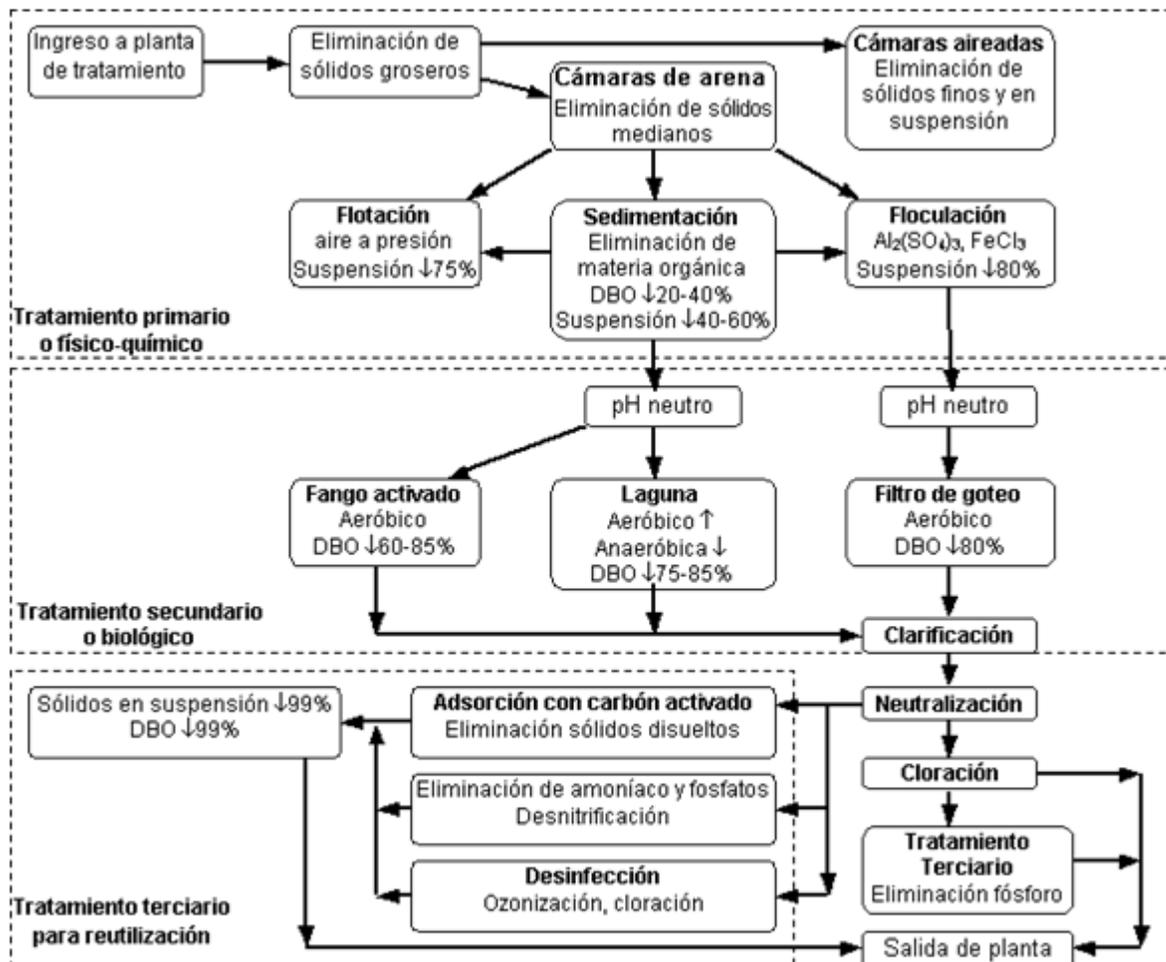


Fig. 28. Etapas del tratamiento de aguas residuales. Fuente: <http://goo.gl/4Ba6fT>

Para concluir este capítulo, es necesario reiterarles, una vez más, que la contaminación natural magnificada por la actividad humana está ocasionando desastres en el medio acuático. Esto debe conducirnos a un proceso de reflexión a nivel individual y colectivo, con el propósito de emprender acciones conducentes a la prevención y/o mitigación con miras a reducir los riesgos y desastres de contaminación provocados por nuestro modelo de desarrollo actual.



Compuestos químicos tóxicos y el recién nacido: estudio de caso (Baird, C. 2004)

Los Jacobson y sus colaboradores estudiaron un grupo de varios centenares de niños nacidos en los hospitales de la parte oeste de Michigan, durante el período 1980-81; muchas madres de estos niños fueron grandes consumidores de pescado del lago en los seis años que precedieron a este período. Las madres de la muestra fueron predominantemente urbanas, de raza blanca y de clase media. La exposición prenatal (i.e., antes del nacimiento) de los niños a los PCBs, se determinó analizando estos compuestos en la sangre de sus cordones umbilicales después del nacimiento. Debido a que las técnicas analíticas a principios de los años 80 no eran lo suficientemente sensibles para la detección de los PCBs en todas las muestras de cordones umbilicales, la exposición de muchos niños se estimó a partir de los niveles de PCB en la sangre y en la leche materna. La exposición postnatal de los niños se evaluó por análisis de la leche materna y, también, por el análisis de muestras de sangre de los niños a la edad de cuatro años.

Los Jacobson descubrieron que, en el nacimiento, los niños de madres que transmitieron las mayores cantidades de PCBs a los niños antes del nacimiento, tenían en promedio un peso ligeramente menor, una longitud de la circunferencia de la cabeza un poco menor, y eran un poco más prematuros que los nacidos de mujeres que transmitieron menores cantidades de compuestos. La severidad de estos "déficits", era tanto mayor cuanto más grande

fue la exposición a los PCBs. Cuando los niños fueron sometidos a análisis a la edad de siete años, muchos de los afectados mostraban pequeñas dificultades en la memoria de reconocimiento visual, e igual que antes, con mayor extensión del problema al aumentar la transmisión prenatal de los PCBs. A la edad de cuatro años, el menor peso observado en el nacimiento para aquellos niños más expuestos aún perduraba. Más seria fue la observación de que los niños de cuatro años mostraban, progresivamente, menores valores en varios ensayos de funcionamiento mental -con respecto a ciertas habilidades orales y de memoria- cuanto mayor fue su exposición prenatal a los PCBs (ver figura 1.1). En 1996, los Jacobson expusieron los resultados del estudio de seguimiento de los niños. A los once años de edad, los efectos de la exposición prenatal a los PCBs, eran aún evidentes. Los valores del índice de inteligencia del grupo sexto, que es el que más se expuso a los PCBs antes del nacimiento estuvieron, en promedio, 6 puntos por debajo respecto a los otros; los comportamientos mentales más afectados fueron la memoria y el lapso de atención.

Más interesante aún, a los cuatro y once años de edad, el contenido total de PCBs en el cuerpo de los niños, que se determinó principalmente a partir de la leche materna que consumieron como be-bés y, en menor grado, por el pescado en su dieta, en lugar de a partir de la transmisión prenatal de los compuestos químicos, no fue el factor relevante en la determinación de los déficits físicos y mentales; más bien, lo importante fueron las pequeñas cantidades de PCBs que se transmitieron de la madre a los fetos. Así pues, los PCBs interfieren en el crecimiento prenatal del cerebro y el mecanismo que determina su tamaño físico.

## Sugerencias de aprendizaje

Hemos abordado en este capítulo tópicos relacionados a la problemática actual de la contaminación hídrica.

Esperamos haber contribuido en el enriquecimiento de sus aprendizajes, a partir de las ideas previas, que usted, sin lugar a dudas, ya tenía. Ahora, le sugerimos que para apropiándose de esta temática interactúe en su equipo de trabajo, para que realice las actividades que a continuación se describen. No olvide dar ejemplos que estén relacionados con su contexto y regístrelas en su texto paralelo.

1. Escriba un comentario crítico sobre el estudio de caso planteado anteriormente y establezca relación con algún caso o experiencia que usted haya vivido.
2. Desarrolle la siguiente afirmación. "El agua es importante en términos económicos y sociales".
3. Explique cómo entiende la calidad del agua.
4. Explique el fenómeno de la eutrofización. De ejemplos
5. Investigue cuál es el medio biológico para eliminar contaminantes del agua.
6. Explique los riesgos de la contaminación del agua para los seres vivos.

7. Los habitantes de una zona rural se abastecen de agua para consumo de una quebrada cercana, en donde también son descargadas las aguas residuales de una porqueriza. De su opinión y recomendación al respecto.

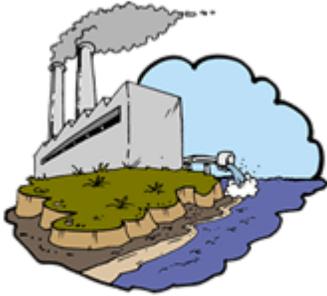
8. Desarrolle la siguiente aseveración:

“Prácticas como la recolección del agua de lluvia, se están perfeccionando y combinando con nuevas técnicas como la recarga artificial de agua y la reutilización. Se necesita más apoyo, para fomentar la eficiencia en la utilización del agua”.



# Capítulo 3

## Contaminación atmosférica



Fuente: <http://goo.gl/7fBSgH>

### 3.1 Aspectos generales

Es indiscutible que la naturaleza actúa como una unidad. En ella todo es interdependiente, existiendo relaciones múltiples entre el aire, el agua y el suelo. Estos elementos constituyen el hábitat o lugar donde se desarrolla normalmente el ciclo vital y la biosfera, sistema que engloba a los elementos anteriores y a todos los seres vivos de nuestro planeta.

Estamos conscientes que, no podemos vivir sin respirar oxígeno. Este gas es tan necesario como el agua, pues es vital para oxidar los alimentos que ingerimos durante el proceso de la respiración celular. Así que, podemos vivir semanas sin alimentarnos, días sin agua, pero sólo podemos sobrevivir unos minutos sin oxígeno.



Fig. 29. Fuente: <https://goo.gl/MwQd2M> y <http://goo.gl/QMabPL>

Pruebas médicas han demostrado que la privación de oxígeno puede estar asociado con enfermedades crónicas, incluyendo el cáncer y el envejecimiento prematuro. Así mismo, el stress, insomnio, dolores musculares y síntomas de malestar general pueden ser causa de una deficiencia en el  $O_2$  que respiramos.

Se considera el aire como un bien común limitado, indispensable para la vida; por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía normal del desarrollo de los seres vivos sobre la Tierra. Todos tenemos el deber de trabajar para lograr un mundo limpio y habitable, sustento de una mejor calidad de vida para las generaciones futuras; evitando de esta forma que el aire respirado sea una amenaza a nuestra salud.

La contaminación atmosférica hace referencia a sustancias que ocasionan daños directos sobre animales, plantas y personas.

El alcance de este tipo de contaminación varía enormemente; puede ocurrir en una escala muy pequeña, por ejemplo, las cocinas alimentadas con leña y pobremente ventiladas.

La contaminación atmosférica puede ser local, como es el caso de una fábrica o grupos de fábricas contaminantes en una ciudad, regional, ocurre en una escala de hasta varios cientos de Km<sup>2</sup>, como el neblumo o smog fotoquímico y global como los clorofluocarburos (CFC) que disminuyan la capa protectora de ozono en la estratosfera a los gases como dióxido de carbono y metano que contribuyen al calentamiento de todo el planeta (Manahan, 2007).

Algunos problemas que son el resultado de la contaminación atmosférica, son tan grandes que pueden considerarse amenazas a la atmósfera global y en los casos más extremos, a la vida en la tierra tal como la conocemos.

Así pues, en este capítulo, se aborda la problemática de los residuos más livianos, cuyo destino inicial es la atmósfera, en donde pueden: desplazarse junto con las masas de aire, transformarse por medio de reacciones químicas, disolverse en el medio acuoso de las nubes, precipitar y retornar otra vez a la superficie terrestre, etc.

Ahora bien, ¿qué es la atmósfera?

La atmósfera, envoltura gaseosa que rodea la Tierra, es transparente e impalpable, y no resulta fácil señalar exactamente su espesor, ya que no posee una superficie superior definida que la limita, sino que se va haciendo menos densa a medida que aumenta la altura, hasta ser imperceptible.



Fig. 30: Envoltura gaseosa de la Tierra. Fuente: <http://espaciociencia.com>

Algunos autores señalan que tiene 200 kilómetros de espesor. La atmósfera constituye el principal mecanismo de defensa de las distintas formas de vida.

Ha necesitado miles de millones de años para alcanzar su actual composición y estructura que la hacen apta para la respiración de los seres vivos que la habitan.

Una de las funciones más importantes de la atmósfera es proteger a los seres vivos de los efectos nocivos de las radiaciones solares ultravioleta.

La Tierra recibe todo un amplio espectro de radiaciones procedentes del Sol, que terminarían con toda forma posible de vida sobre su superficie de no ser por el ozono y el oxígeno de la atmósfera, que actúan como un filtro absorbiendo parte de las radiaciones ultravioleta.

Es importante destacar que, la atmósfera es un medio muy complejo, en el que concurren fenómenos meteorológicos y químicos que hacen incierto el comportamiento de los residuos vertidos. Debido a la gran movilidad de los compuestos en la atmósfera, sobretodo en relación a los medios hídricos y edáficos, los efectos de los residuos pueden alcanzar extensas zonas del planeta. Así que, reflexionaremos sobre el impacto de los residuos en la atmósfera, haciendo referencia a los posibles efectos a nivel planetario (efecto invernadero y erosión de la capa de ozono), regionales (lluvia ácida) o locales (contaminación urbana), según sea la naturaleza química del residuo



### **3.2 Estructura y composición química de la atmósfera**

Sabemos que no podemos ver las capas de la atmósfera con nuestros propios ojos, pero los científicos miden algunos cambios en las temperaturas, desde la superficie de la Tierra a zonas de mayor altitud. Estos cambios de temperatura, definen las capas de la atmósfera, en las que pueden distinguirse cuatro zonas diferentes (dependiendo del gradiente de temperatura que impere en cada una de ellas). (Fig. 31).

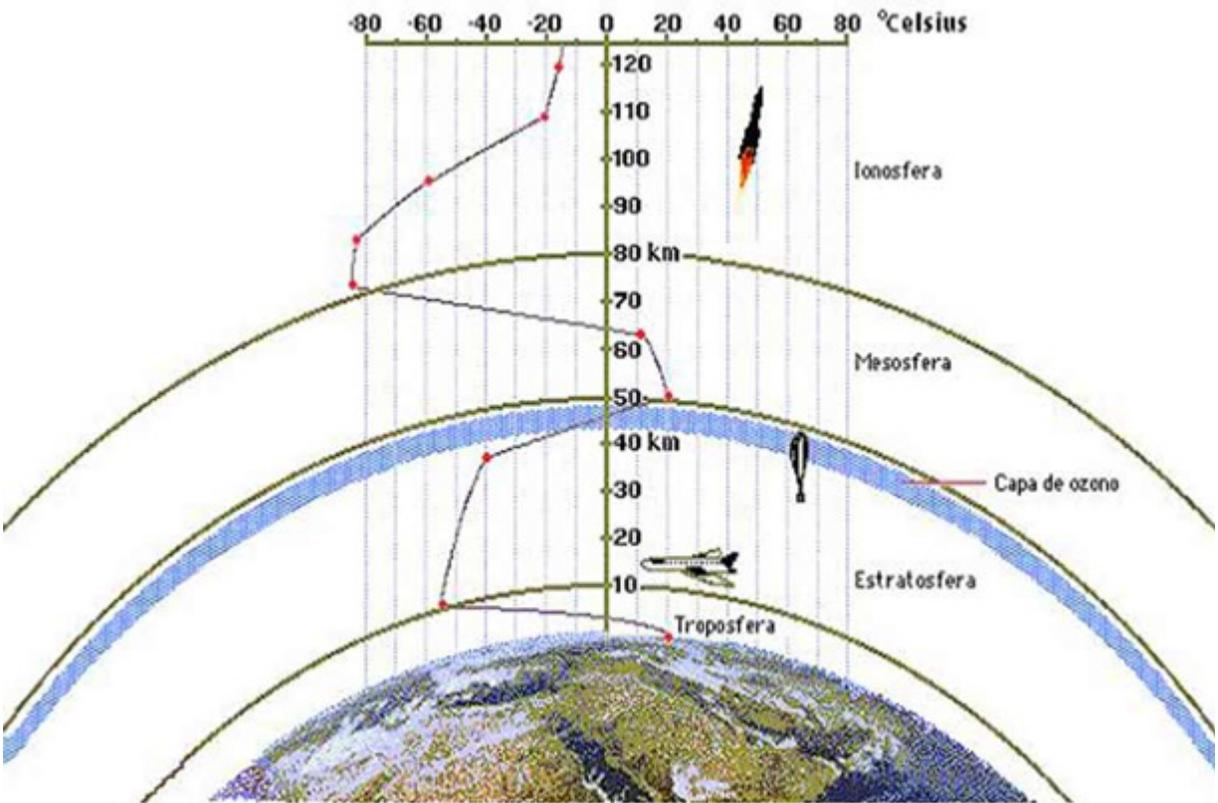


Fig. 31. Capas de la atmósfera según cambios de temperatura. Fuente: <http://goo.gl/3xKXVg>

La capa más baja es la troposfera, la cual comprende la zona que va desde la superficie terrestre hasta una altitud media de unos 10 a 17 km; la temperatura disminuye desde los 15°C de media existente en la superficie terrestre, hasta los -56°C.

Debido al gradiente negativo de temperatura, se produce una mezcla constante de masas de aire, tanto en la dirección vertical como en la horizontal, lo cual hace que la troposfera sea una zona de gran actividad meteorológica. Se le denomina la capa agitada de la atmósfera.

**La estratosfera**, que es la siguiente capa, va más allá de la troposfera hasta una altitud de unos 50 km, se produce un gradiente positivo de la temperatura ( $20^{\circ}\text{C}$ ). Ello impide la ascensión de las masas frías de aire por encima de las masas más calientes y, por tanto, menos densas. En esta zona, tan sólo prevalece el movimiento horizontal de las masas de aire, lo cual configura la estructura en estratos característica de esta zona de la atmósfera.

La siguiente capa, **la mesosfera**, se extiende desde los 50 km de hasta los 85 km. de altitud. La temperatura varía hasta  $-80^{\circ}\text{C}$ . Al igual que la troposfera, el gradiente de temperatura es negativo. No obstante, a diferencia de la troposfera, la densidad en esta zona es muy baja, con lo que los movimientos convectivos son prácticamente inexistentes.

Finalmente, debe señalarse la **termosfera**, la cual comprende la zona de la atmósfera situada entre los 85 km y los 500 km de altitud.

A esta última altitud la temperatura reinante es de  $1200^{\circ}\text{C}$ , lo cual implica que el gradiente de temperatura en esta región es positivo, igual que el que impera en la estratosfera.

En la imagen anterior se observa la ionosfera, la que los científicos consideran una extensión de la termosfera. Se encuentra ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar.

Esta representa menos del 0.1% de la masa total de la atmósfera de la tierra. Contribuye esencialmente en la reflexión de las ondas de radio emitidas desde la superficie terrestre, posibilitando que éstas viajen grandes distancias sobre la tierra gracias a las partículas de iones (cargadas de electricidad) presentes en esta zona.

También, la ionosfera es el hogar auroras (fenómeno en forma de brillo o luminiscencia que aparece en el cielo nocturno, usualmente en zonas polares) donde se desintegran la mayoría de los meteoroides a una altura entre 80 y 110 Km, debido al rozamiento con el aire dando lugar a meteoros o estrellas fugaces.

Entre todas las capas existen determinados puntos en los que cambia la tendencia de la temperatura, se denominan "pausas". Así, entre la troposfera y la estratosfera se encuentra la tropopausa. Sobre la estratosfera está la estratopausa. La mesopausa se encuentra entre la mesosfera y la termosfera y se trata del punto más frío de la atmósfera.

Al contrario que la temperatura, la presión y la densidad del aire disminuyen continuamente con la altitud, ya que el aire va disminuyendo.

Para un determinado volumen de aire, habrá 1,000 moléculas de oxígeno si se encuentra cerca de la superficie terrestre, pero a una altitud de 50 km, sólo habrá una molécula de oxígeno.

Debido a que la densidad de la atmósfera disminuye mucho con la altitud, prácticamente toda su masa se concentra en la zona baja de la atmósfera.

En este sentido, alrededor de un 99% de la masa total de la atmósfera se encuentra en los primeros 30 km de la superficie terrestre. En esta zona, es donde van a parar los residuos lanzados por el ser humano.

### **Interacción de la luz y el aire**

La energía solar es absorbida por la superficie de la Tierra, específicamente por los continentes y también por los océanos.

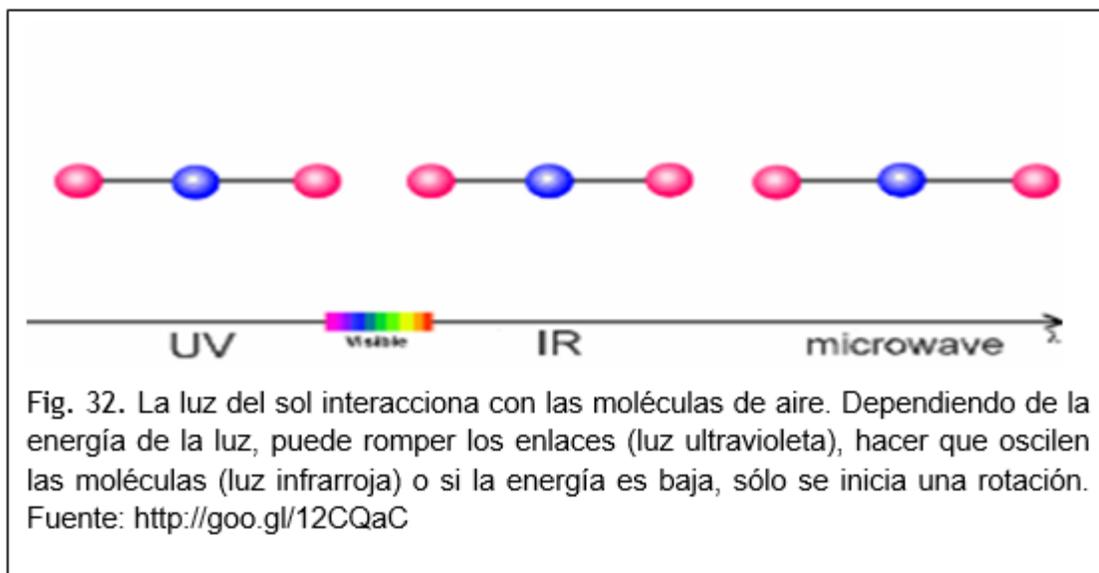
Transforman tal energía en calor y, por ello, cuanto más lejos nos encontramos del nivel del mar, más baja será la temperatura. Este proceso es el que controla la tendencia de la temperatura en la troposfera. ¿Qué hace que cambie el sentido de esta tendencia de temperatura en la estratosfera?

El aire puede calentarse si sus moléculas son capaces de absorber energía por sí mismas. En la estratosfera, las moléculas de ozono, de la ozonósfera, son las que absorben la energía.

Las propiedades de tales moléculas son importantísimas para nuestro clima. La cantidad de energía que absorbe una molécula depende de la propia molécula y de la longitud de onda (energía) de la luz. (Fig. 32)

Ejemplo:

- Las microondas sólo tienen un poco de energía. Hacen que las moléculas roten, pero no rompen sus enlaces químicos.
- La radiación Infrarroja (IR) es un poco más fuerte. Hace que las moléculas vibren. Los átomos oscilan y cambia la longitud de enlace. Esto ocurre cuando los gases de efecto invernadero absorben la radiación de calor emitida por la superficie terrestre.



- La luz ultravioleta (UV) tiene incluso más energía y puede romper los enlaces químicos. Esto es lo que ocurre si el ozono de la ozonfera absorbe la energía del sol. Cuando el ozono absorbe de la energía del sol, ésta se conserva en dicha capa, razón por la que aumenta la temperatura con la altitud. Esto es similar al proceso que tiene lugar en la termosfera, pero en ésta son el **oxígeno** y el **nitrógeno** los que absorben

aún más radiación energética del sol. La radiación es tan energética que no sólo rompe los enlaces, sino que también hace que se carguen los átomos y las moléculas conocidas como iones. Esto es por lo que esta capa también se conoce como **ionosfera**.

### **Composición Química de la Atmósfera**

La atmósfera está formada por una mezcla de gases generalmente estables, ya que éstos se encuentran en una homogénea proporción y más aún si hablamos de las proximidades a la superficie de La Tierra. Domenéch (1997) afirma que, la composición química de la atmósfera situada por debajo de los 90 Km. no varía, con la altitud. Por la importancia de la parte baja de la atmósfera, en relación a los procesos naturales que se desarrollan en la superficie del planeta, sólo se va a considerar esta región y más específicamente, la zona que se extiende hasta los primeros 50 Km. de altitud, porque ahí hay mayor incidencia antropogénica.

Dicha zona gaseosa del planeta, conforma la capa externa de la Tierra, siendo además la capa más extensa y con menor densidad de la Tierra. Los gases que forman la atmósfera, son muy diversos y varían su concentración en relación a la altura, dichos gases son absolutamente esenciales para la vida. La mezcla de gases, es conocida comúnmente con el nombre de aire, y se encuentra formada por una concentración de un 78% de nitrógeno, un 0.9 % de argón y 21% de oxígeno de la composición total de la atmósfera. El mismo es el gas más importante de desde el punto de vista biológico.

Como sabemos, el oxígeno es utilizado por casi todos los seres vivos en la respiración celular, mediante la cual obtenemos la energía necesaria realizar para todas las funciones que exige nuestra existencia. Así también, interviene en la absorción de las radiaciones ultravioleta del Sol que, de llegar a la Tierra en toda su magnitud, destrui-rían la vida animal y vegetal.

El 0.1 % restantes lo forma una gran variedad de compuestos gaseosos a muy baja concentración, los que juegan un papel muy importante en las reacciones químicas que ocurren en esta región de la atmósfera. En la tabla que siguiente aparecen estos compuestos minoritarios, los más significativos, en cuanto a su concentración y estabilidad, indicando los niveles por término medio, en partes por millón (ppm).

Tabla 6. Concentraciones de compuestos gaseosos.

Especies	Concentración en ppm
CO <sub>2</sub>	335
Ne	18
He	5.2
CH <sub>4</sub>	1.7
Kr	1.1
H <sub>2</sub>	0.5
N <sub>2</sub> O	0,3
CO	0.12
Xe	0.09
O <sub>3</sub>	0.03

(Fuente: Domenéch, 1997)

Para algunos componentes se pueden encontrar localmente valores muchos más elevados, como es el caso del  $O_3$  que, en zonas ecuatoriales del planeta o bien en ambientes polucionados, puede aumentar más de cinco veces su nivel medio.

Es importante subrayar que la concentración de algunos de estos gases ha cambiado mucho en la actualidad debido a las actividades antropogénicas, que han liberado a la atmósfera enormes cantidades de dióxido de carbono junto con otros gases contaminantes, tal es el caso del dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos halogenados, entre otros.

Esto ha traído consecuencias altamente negativas para el ambiente (por ejemplo, el smog de las grandes ciudades, el agujero de ozono, el efecto invernadero).

Otro gas que se encuentra en la troposfera es el vapor de agua, el cual está presente en cantidades muy variables en el tiempo, y también en la altitud y en la latitud. En concreto, se encuentra en proporciones comprendidas entre un 4% de la composición química total cerca de las zonas tropicales, a tan sólo unas décimas en las regiones polares y en los desiertos.

También, en la atmósfera existen partículas sólidas y líquidas en suspensión. El tiempo de residencia de éstas en la atmósfera depende de su tamaño, de manera que cuanto más pequeña es la partícula, menor es su velocidad de sedimentación. (Domenéch, 1997).

Como pudimos ver, la composición química de la atmósfera es importante por varias razones, pero principalmente por las interacciones entre la atmósfera y los seres vivos. Esta composición ha estado cambiando a causa de las actividades antropogénicas y más de algunos de estos cambios podrían convertirse en amenazas potencialmente peligrosas para el bienestar humano, los cultivos, los ecosistemas y la infraestructura.



### 3.3 Origen de los contaminantes atmosféricos

Ya se ha descrito la composición química de la atmósfera y la gran variabilidad a la que están sujetos la mayor parte de las especies minoritarias presentes en nuestra atmósfera debido, principalmente, a la acción humana.

Estrictamente hablando, en química atmosférica se considera que una sustancia, ya sea gaseosa, líquida o sólida presente en la atmósfera, es contaminante, cuando, dependiendo de los niveles en que esté presente, pueda causar, directa o indirectamente, efectos nocivos tanto a los seres vivos como a los materiales.

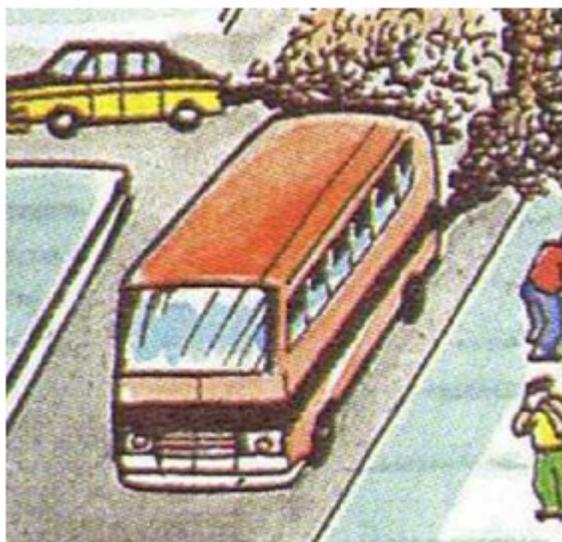


Fig. 33. Contaminación vehicular.  
Fuente: López, J. et al, 1999.

En consecuencia, la concentración, tanto en exceso como en defecto, es un parámetro crucial para identificar las sustancias contaminantes.

El origen de estos contaminantes es muy diverso, cabe señalar que existe contaminación natural producida por una variedad de fenómenos biológicos y geoquímicos; así como contaminación antropogénica, constituyéndose en una amenaza dentro de los ecosistemas. Romano, L. (2009), considera que:

*"Las acciones de los seres humanos poco o nada se relacionan con las amenazas naturales, como, por ejemplo, la actividad volcánica, por ello difícilmente podemos evitar prevenir, ni predecir cuándo van a ocurrir. Las mayores posibilidades de protección radican en la reducción de la vulnerabilidad, transformando aquellas características de la sociedad (emplazamiento de la vivienda, nivel educativo, aspectos culturales, económicos y políticos, entre otros) que vuelven a sus miembros más propensos a ser afectados por este tipo de fenómenos"*

## **Contaminación natural**

De acuerdo con Domenéch (1997) casi todas las especies químicas consideradas contaminantes, tienen, al menos, un origen natural, a excepción de algunas sustancias organoclorados, compuestos aromáticos y olefinas, cuyo origen es típicamente antropogénico.

A continuación, se listan los principales contaminantes de origen natural, especificando algunas de las causas más importantes de su emisión.

Tabla. 7. Contaminantes primarios emitidos por fuentes naturales junto con su origen más importante.

Gases contaminantes	Origen
CO	Océano; incendios forestales
CO <sub>2</sub>	Deforestaciones; respiración
CH <sub>4</sub>	Fermentación intestinal. Océanos; zonas húmedas, plantas en descomposición.
Parafinas	Emisiones biogénicas
Terpenos	Vegetación
NO y NO <sub>2</sub>	Incendios forestales; procesos anaeróbicos en el suelo, descargas eléctricas.
N <sub>2</sub> O	Desnitrificación; océanos
NH <sub>3</sub>	Procesos aeróbicos en el suelo
SO <sub>2</sub>	Erupciones volcánicas
SH <sub>2</sub>	Zonas húmedas; erupciones volcánicas
S <sub>2</sub> C	Zonas húmedas; océanos
SCO	Erupciones volcánicas; océanos
Mercaptanos	Emisiones biogénicas
HCl y HF	Erupciones volcánicas
CH <sub>3</sub> Cl	Océanos; incendios forestales
CH <sub>3</sub> Br y CH <sub>3</sub> I	Emisiones biogénicas

Fuente: Domenéch, 1997

Es importante destacar aquí, que las erupciones volcánicas son el origen de muchos contaminantes atmosféricos y que, a diferencia de otras fuentes polucionantes, los logran introducir directamente a la estratosfera.

El volcán despiden durante las erupciones compuestos sulfurados, como, por ejemplo,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{SCO}$  y también ácidos, como el ácido clorhídrico y fluorhídrico ( $\text{HCl}$  y  $\text{HF}$ ). Además de estos contaminantes, el volcán también despiden una gran cantidad de partículas, principalmente de carácter inorgánico.

Romano, I. (2009) afirma con relación a los desastres detonados por la actividad volcánica, que las erupciones volcánicas generalmente son lentas en el área centroamericana. Las mismas dan tiempo para realizar las acciones de rescate o evacuación a las personas que están expuestas. Aunque definitivamente las erupciones no se pueden evitar, pero se pueden tomar medidas de prevención para reducir el riesgo frente a estos fenómenos altamente peligrosos.



Fig. 34. Cordillera de los Maribios. Fuente: <http://goo.gl/mrJMO9>

En nuestro país, la amenaza de los seis volcanes activos (San Cristóbal, Telica, Cerro Negro, Momotombo, Masaya y Concepción), según INETER, 2001, están tipificadas como "poco peligrosas. Sin embargo, el volcán Masaya, está catalogado como el volcán número seis en el mundo que produce una densa capa de gases a la capa de ozono".



Fig. 35. Volcán Masaya.

Así mismo, uno de los impactos que produce la emanación de gases de este volcán es la formación de lluvias ácidas por la presencia de especies como el  $\text{SO}_2$ , que afecta a la población de El Crucero y comunidades aledañas, la infraestructura, cultivos y biodiversidad.

## **Contaminación antropogénica**

Los contaminantes antropogénicos representan la amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera.

La presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, implica riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Tal como se afirma, prácticamente el 80% de los contaminantes que se vierten a la atmósfera proviene de la combustión de carburantes fósiles.

La polución de origen antropogénico suele estar localizada en centros urbanos densamente poblados o en zonas altamente industrializadas.

No obstante, dependiendo de la estabilidad del contaminante y de las condiciones meteorológicas que imperen en el entorno, la polución puede afectar a regiones más o menos alejadas del foco emisor de los contaminantes. (Domenéch, 1997).

Tabla 8. Principales gases contaminantes de origen antropogénico con indicación de las causas más probables de su emisión.

Gases contaminantes	Origen
CO	Combustión hidrocarburos y biomasa
CO <sub>2</sub>	Combustión hidrocarburos
CH <sub>4</sub>	Extracción combustibles y emisiones de residuos
Parafinas	Extracción de gas, emisiones de vehículos y refinerías
Olefinas	Emisiones de vehículos. Hidrocarburos
Aromáticos	Emisiones de vehículos, evaporación de disolventes
Óxidos de nitrógeno	Procesos de combustión
NH <sub>3</sub>	Combustión carbón y petróleo, emisión de residuos
SO <sub>3</sub>	Combustión hidrocarburos
SH <sub>2</sub>	Refinerías, industria papelera
Mercaptanos	Refinerías, industria papelera
HCl	Combustión carbón e incineración de plástico
CH <sub>3</sub> Cl	Incineración de plásticos
Compuestos clorocarbonados	Evaporación disolvente y emisiones directas
CH <sub>3</sub> Br	Fumigación

Fuente: Domenèch. 1997

Ahorabien, estos gases contaminantes han alterado significativamente la atmósfera, particularmente con respecto a la composición de sus constituyentes menores y gases traza. Los efectos principales han sido los siguientes (Manahan, 2007):

- Aumento de la acidez en la atmósfera
- Producción de contaminantes oxidantes (smog fotoquímico en áreas localizadas de la troposfera baja).
- Elevación de los niveles de gases absorbentes de infrarrojo (gases invernadero).

- Amenazas a la capacidad de filtración ultravioleta por la capa de ozono en la estratosfera.
- Aumento de la corrosión de los materiales inducida por los contaminantes atmosféricos

La intervención del ser humano con el abuso de agroquímicos, con la quema de bosques, de vegetación, desechos domésticos e industriales, en general, aumenta de forma significativa las emisiones gaseosas, lo que genera un riesgo persistente de contaminación atmosférica. Todas estas acciones han generado vulnerabilidad ambiental en nuestra región, en nuestro país y a nivel mundial.



### **3.4 Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos**

Como vimos en el apartado anterior, los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y las antropogénicas (emisiones que repercuten de nuestras actividades humanas).

Tal como sabemos, en la atmósfera permanecen suspendidas sustancias como partículas de polvo, polen, hollín (carbón), metales (plomo, cadmio), asbesto, sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, entre otras.

Los aerosoles son aquellos materiales muy pequeños, menores de diez micras, sólidos o líquidos. Se denominan partículas a los sólidos que forman parte del aerosol y, polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más).

El polvo suele ser un problema de interés local, mientras que los aerosoles pueden ser transportados a muy largas distancias.

Cárdenas B. et al (2003), plantea que los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos.

El material particulado son las partículas suspendidas, las hay menores a diez micras y con diámetro menor a 2.5 micras. Así mismo, señala esta autora que, entre las distintas fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos destacan dos tipos: las fijas y las móviles.

De las fuentes fijas existen tres tipos, tales como:

- **Fuentes puntuales:** derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales (industria química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras). Las emisiones derivadas de la combustión ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e hidrocarburos) utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros).

- **Fuentes de área:** derivadas de emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP (gases licuado de petróleo como butano, propano, etc.), principalmente. Además, incluye emisiones de actividades como el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud.
- **Fuentes naturales:** incluyen la generación de emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales. En particular las emisiones biogénicas, emitidas por la vegetación y la actividad microbiana en suelos y océanos. Estas emisiones contienen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, compuestos nitrogenados y azufrados (Velasco 2001, citado por Cárdenas B. et al 2003)).

Ahora bien, ejemplos de fuentes móviles que pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias con motores de combustión y otros similares. Estos emanan monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y óxidos de nitrógeno (NOx), producidos durante la combustión.



### **3.5 Comportamiento y destino de los contaminantes atmosféricos**

Una vez descritos los contaminantes y sus fuentes emisoras, cabe preguntarse, ¿hacia dónde se dirigen? Domenéch, (1997) afirma que, la mayor parte de los contaminantes se difunden hacia la parte baja de la atmósfera, donde están sometidos a la acción química de otras especies presentes y a la acción física de los fenómenos meteorológicos. En algunas excepciones, como determinadas erupciones volcánicas o la aviación supersónica, los contaminantes son proyectados a zonas más altas de la atmósfera. Como las condiciones físicas y químicas dependen, en gran medida, de la altitud, el comportamiento de los contaminantes, también se verá muy afectado por este parámetro.

Además, destaca el mencionado autor que, la mayoría de los contaminantes se vierten en la troposfera, pasando allí, en general, toda su existencia. La atmósfera es como un reactor químico dinámico, en el que los contaminantes se mezclan gracias a los movimientos convectivos de las masas de aire. Posteriormente reaccionan con otras especies presentes, sedimentan y, en consecuencia, se separan de la mezcla reactiva. El destino último de los contaminantes son los océanos, los sedimentos o el suelo.

En general, en las áreas continentales se encuentran las fuentes originarias de la contaminación y los océanos, por su extensión, son los principales depósitos hacia los que retornan los contaminantes.

Ahora bien, el contaminante, una vez emitido pasa transformaciones físicas y químicas, a lo que se llama ciclo.

Son mezclados a causa de las turbulencias de las masas de aire y transportados por mecanismos de convección y difusión a distancias alejadas del foco emisor, lo que diluye el posible impacto negativo del residuo. Posteriormente, puede retornar a la superficie terrestre, ya sea por sedimentación si se encuentra en fase sólida (deposición seca), o bien incorporado en el agua de lluvia (deposición húmeda).

Si el tiempo de residencia del residuo es suficiente, éste puede participar en reacciones químicas y transformarse en otras sustancias contaminantes, llamados contaminantes secundarios, en contraposición a sus precursores (contaminantes primarios).

Las transformaciones químicas pueden ser homogéneas (en una misma fase), o sea, residuos gaseosos que reaccionan en fase gas, o especies químicas disueltas que reaccionan entre ellas en medio acuoso, por ejemplo, en la nube.

También, se pueden dar reacciones químicas heterogéneas (componentes de la reacción están en distinta fase).

Ejemplo, reacciones entre compuestos gaseosos en los que intervienen partículas sólidas como catalizadores (Domenéch, 1997)

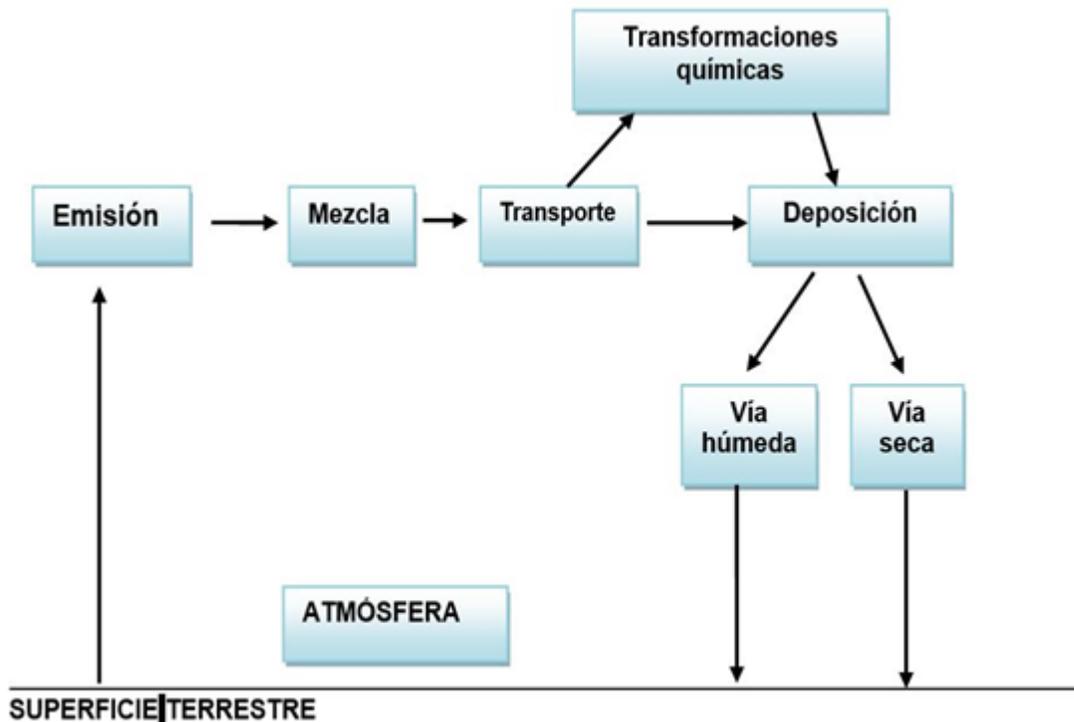


Fig. 36. Comportamiento de los contaminantes. Fuente: Domenéch, 1997

En fin, la mayor amenaza para el equilibrio químico en la atmósfera proviene de la actuación directa del ser humano sobre este medio. No hemos sido realmente consciente de la limitación especial de nuestra atmósfera, y no nos percatamos que los residuos vertidos permanecen en ella, participando en muchos casos, como se mencionó anteriormente, en reacciones químicas generadoras de contaminantes secundarios.

En concreto, estos contaminantes participan en un ciclo bien definido, en el que los mismos son emitidos a la atmósfera, se mezclan, se diluyen, reaccionan después con otras especies presentes en ésta y, finalmente, retornan a la superficie terrestre.

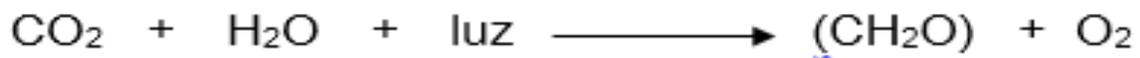


### 3.6 Ciclos biogeoquímicos: ciclo del carbono y nitrógeno

La composición química de la atmósfera terrestre depende de los procesos bioquímicos y geoquímicos que tienen lugar en la superficie terrestre. Mediante estos procesos, ocurren transformaciones cíclicas que, globalmente, mantienen las concentraciones de las especies químicas atmosféricas, tanto mayoritarias como minoritarias, a niveles constantes. Los ciclos más importantes son los del carbono y del nitrógeno, los cuales serán descritos a continuación.

#### Ciclo del Carbono

El carbono es un elemento fundamental que constituye la pieza básica sobre la cual se asienta la materia orgánica. En la atmósfera, la especie predominante que contiene C en sus moléculas no es, precisamente un compuesto orgánico; es el CO<sub>2</sub>. Se estima que la cantidad de C en forma de CO<sub>2</sub> de esta cantidad, aproximadamente un 2 por 100 se transforma cada año a materia orgánica gracias a la actividad de las plantas verdes y determinados microorganismos, fundamentalmente a través de la fotosíntesis.



En efecto, el  $\text{CO}_2$  consumido por las plantas mediante la fotosíntesis es devuelto a la atmósfera en procesos de respiración, tanto animal como vegetal (trayectorias b y c), así como también gracias a la respiración del suelo (trayectoria d). (Fig. 36).

Por otro lado, este equilibrio es muy frágil y puede romperse por distintas causas.

Así, por ejemplo, las erupciones volcánicas, la quema de biomasa y, sobre todo, la combustión de carburantes fósiles, puedan añadir importantes cantidades de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y, por tanto, desequilibrar el ciclo de este elemento.

Pues bien, el ser humano, interviene en el ciclo del carbono de una forma poco adecuada, liberando ingentes cantidades de  $\text{CO}_2$  como resultado de quemar combustibles fósiles, los cuales no son más que una mezcla de hidrocarburos formados por sedimentación de residuos orgánicos sometidos a elevadas condiciones de presión y temperatura durante miles de años.

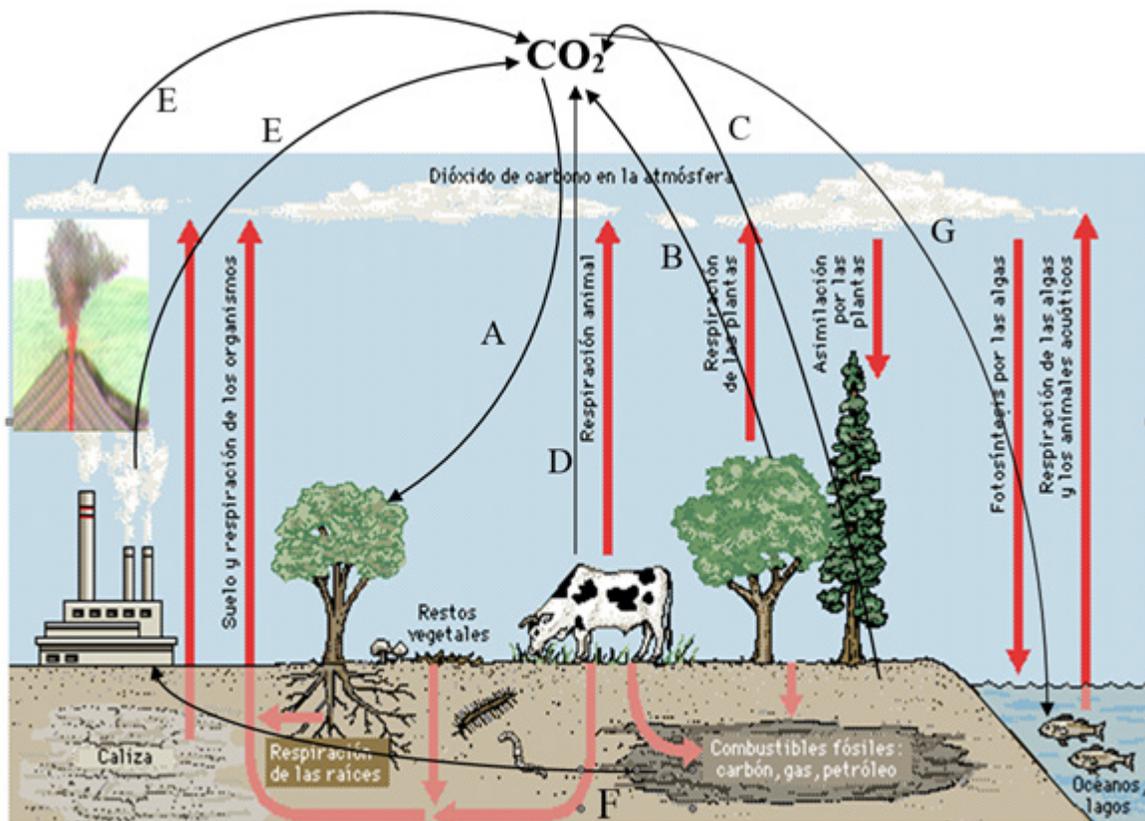


Fig. 37. Ciclo del carbono. Fuente: Modificado de <http://goo.gl/Bi5UxN>  
 A) Fotosíntesis; B) Respiración Vegetal; C) Respiración del suelo; D) Respiración animal;  
 E) Combustión; F) Extracción de combustible fósil; G) Disolución en océanos.

Así que el carbono, vital para todos los seres vivos, circula de manera continua en el ecosistema terrestre. En la atmósfera existe en forma de dióxido de carbono, que emplean las plantas en la fotosíntesis. Los animales usan el carbono de las plantas y liberan dióxido de carbono, producto del metabolismo.

Aunque parte del carbono fósiles, gas y depósitos calizos. La respiración y la fotosíntesis mantienen prácticamente estable la cantidad de carbono atmosférico.

La industrialización aporta dióxido de carbono adicional al medio ambiente con el consecuente incremento de la temperatura (efecto invernadero intensificado), aumentando el riesgo frente a los desequilibrios ecológicos que se tornan en una amenaza para el débil equilibrio existente en los ecosistemas.

## Ciclo del Nitrógeno

Otro elemento esencial para el desarrollo de los procesos biológicos en la biosfera es el nitrógeno. El elemento se presenta en la atmósfera como un gas diatómico altamente estable, y a pesar de su estabilidad, existen determinados fenómenos naturales o bien microorganismos capaces de romper el enlace que mantiene unidos los dos átomos de nitrógeno sin consumir una cantidad excesiva de energía. Una vez roto el enlace, los átomos de nitrógeno son los suficientemente reactivos como para entrar a formar parte de un gran número de compuestos naturales.

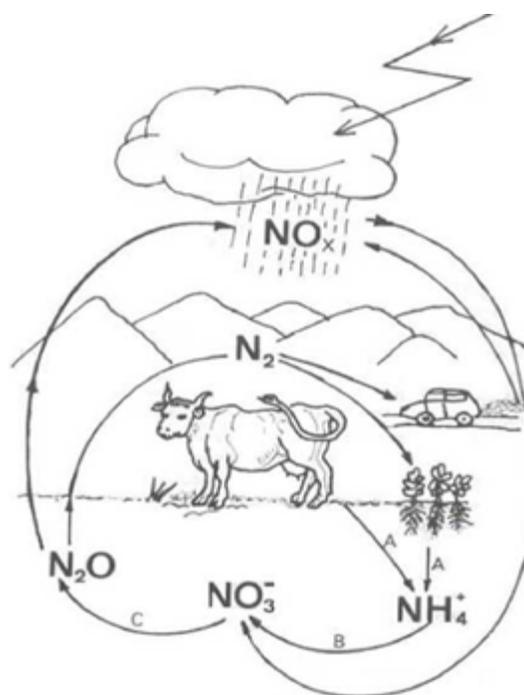


Fig. 38. Ciclo del nitrógeno. A: amonificación, B: nitrificación C: desnitrificación. Fuente: Domenéch, 1997

La contribución más importante al ciclo del nitrógeno proviene de la fijación biológica.

Mediante este tipo de transformación, se estima que, anualmente, se fijan alrededor de unos 4 mil millones de toneladas de nitrógeno en todo el planeta. En el suelo, la fijación de nitrógeno atmosférico tiene lugar a cargo, principalmente, de las plantas leguminosas. No obstante, determinados microorganismos presentes tanto en el suelo como en el medio marino, también son capaces de fijar el nitrógeno de la atmósfera.

La asimilación del nitrógeno a través de procesos biológicos viene **catalizada** por la **enzima nitrogenasa**, capaz de **transformar el nitrógeno molecular** a ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En este proceso catalítico, **interviene** el **ATP**, el cual es un nucleótido que aporta la energía química suficiente como para que se pueda realizar el proceso.



Este proceso es en cierta medida análogo a la fotosíntesis, puesto que en ésta última la energía luminosa es la que cataliza la reacción, mientras que en aquélla es el ATP quien se encarga de suministrar aporte energético que permita la reducción del nitrógeno a ion amonio.

En el suelo, el ion amonio es oxidado por la intervención de unas bacterias denominadas nitrificantes, las cuales transforman esta especie química a nitrato, dejando el suelo ácido.

El proceso global que se lleva a cabo es el siguiente:



A su vez, el **nitrato** puede **disolverse** en las **aguas subterráneas** y **unirse** con las **aguas superficiales**, las cuales también pueden contener nitratos provenientes de la atmósfera. Otra posibilidad es que los **nitratos** se vuelvan a transformar a **nitrógeno**, cerrándose el ciclo.



### 3.7 Química estratosférica

Ahora abordaremos, las transformaciones químicas que pueden sufrir los distintos contaminantes en la estratosfera. Eso sí, antes es necesario comprender su etimología para conocer mayormente sobre la misma. Bien, proviene de latín "stratus" que alude, a la "cubierta de las nubes sobre la tierra". Es decir, es la capa de la atmósfera que tiene como principal función cubrir a la troposfera.

En las capas bajas de la atmósfera existen barreras físicas y químicas que dificultan el paso de los residuos procedentes de la superficie terrestre hacia la estratosfera: la **inversión térmica** existente en el límite entre la troposfera y la estratosfera, y, la **tropopausa**, que es la que pone más resistencia a la transferencia de compuestos químicos entre una y otra zona de la atmósfera.

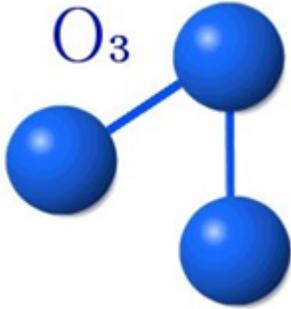
La **presencia** de los **radicales hidroxilos** (OH en la troposfera), hace que muchos de los **residuos vertidos se degraden** en esta región de la atmósfera. En consecuencia, sólo muy pocos contaminantes llegan a penetrar la estratosfera; los que son muy estables y resistentes al ataque químico de los radicales OH, con elevados tiempos de residencia en la atmósfera.

Es muy difícil estudiar los procesos químicos de la estratosfera. Las características de la estratosfera están gobernadas por la existencia de la capa de ozono ( $O_3$ ), ya que en esta capa es donde la **concentración** de  $O_3$  **alcanza valores máximos**. Entre estas características podemos mencionar las siguientes:

- Es una zona muy tranquila desde el punto de vista meteorológico
- Los movimientos verticales son lentos y los horizontales pueden llegar hasta los 200 Km por hora
- Es un sistema muy grande
- Las reacciones químicas que se dan ahí son fotoquímicas

Los científicos afirman que, es muy difícil cuantificar las especies químicas que llegan a la estratosfera. En el siguiente acápite nos referiremos a uno de las especies químicas de mayor importancia en esta zona de la atmósfera, el  $O_3$ , el que como sabemos actúa como filtro absorbiendo la radiación UV, que resulta nociva para los seres vivos.

### 3.7.1 Ozono estratosférico



**Fig. 39. Molécula de ozono.**  
Fuente: <http://goo.gl/ne3ZVx>

Como ya lo mencionamos, el ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas, y de alta energía, que llegan a nuestro planeta permitiendo que pasen otras como la ultravioleta de onda larga, que de esta forma llega a la superficie. Esta radiación ultravioleta es la que permite la vida en la Tierra, pues es la que los vegetales necesitan para realizar la fotosíntesis.

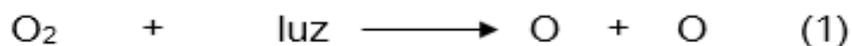
Pues bien, el  $O_3$  se encuentra mayoritariamente entre los 15 y los 35 Km de altura y absorbe la irradiación solar en la franja 240-290 nm. Tiene una función eminentemente protectora y provoca el aumento de la temperatura (inversión térmica y la inexistencia de movimientos convectivos).

La concentración del  $O_3$  se expresa en Unidades Dobson (UD), que equivale a un espesor de 0.01 mm de ozono puro a la densidad que tendría si se encontrase a la presión de 1 atm y a cero grados centígrados.

Las concentraciones medias de  $O_3$  en los trópicos son de alrededor de 250 UD, mientras que en las regiones subsolares son de 450 UD, excepto cuando aparecen agujeros en la capa de ozono por encima de estas áreas. La cantidad media de ozono en la atmósfera es de 350 UD, correspondiente a un espesor de tan solo 3.5 mm en condiciones normales.

Tal como se afirma, dada la baja concentración de ozono en la atmósfera, incluso en la zona de mayor concentración, sería más adecuado hablar de pantalla de ozono en lugar de capa de ozono.

Ahora bien, la primera aproximación que justifica la existencia de la capa de  $O_3$  es el ciclo de Chapman; el que consideró reacciones químicas del oxígeno. Así que, el ozono se genera por fotodisociación de una molécula de oxígeno, seguida de una combinación átomo-molécula de oxígeno. (Domenéch,1997).



Para lograr la disociación del oxígeno molecular (reacción 1) y llevar a cabo este proceso, se requiere luz muy energética y, evidentemente, oxígeno. Por otra parte, el ozono se puede combinar con oxígeno atómico para dar oxígeno molecular, así como también se puede fotodisociar simultáneamente, dando respectivamente una molécula y un átomo de oxígeno (procesos 3 y 4).



Puesto que los procesos 3 y 4 son más lentos que las reacciones 1 y 2, se produce una acumulación neta de ozono. Por otra parte, gracias a los procesos 2 y 3, se genera una gran cantidad de calor que se disipa en la atmósfera y que, de hecho, es la responsable del aumento de temperatura que se registra al aumentar la altitud en la estratosfera. Es importante enfatizar que, con estas reacciones se explica cualitativamente la existencia de la capa de  $O_3$ .

La velocidad máxima de producción de ozono tiene lugar sobre el ecuador, que es donde la radiación solar es máxima, y a una altitud de unos 22 km. Esta altura de máxima producción de ozono es el resultado de un compromiso entre la tendencia a una mayor intensidad de la radiación solar al aumentar altitud y la mayor concentración de oxígeno molecular cuanto menor es la altitud.

Una vez producido el ozono, éste se desplaza horizontalmente hacia los polos, siguiendo los movimientos de las masas de aire estratosférico, al mismo tiempo que disminuye de altitud.

El 80% del ozono total presente en la atmósfera, se encuentra entre los 10 y los 35 km. de altitud; un 10% se encuentra a altitudes superiores a los 55 km. y, finalmente, el 10 por 100 restante se encuentra, fundamentalmente, por debajo de la capa de mezcla.

En la zona donde se encuentra en mayor proporción el ozono, el nivel medio de éste es de unas 10 ppm.

Para tener una idea de lo que significa esto, tan sólo señalar que, si se recogiese todo este gas y se colocase en un recipiente a 0°C de temperatura y a una atmósfera de presión, ocuparía tan sólo una capa de 3 mm de espesor.

La concentración de ozono no es la misma a lo largo de toda la capa, puesto que varía con la latitud. Así que, los mayores niveles de ozono se encuentran cerca de los polos, alcanzando valores máximos en el polo norte durante los meses de marzo y abril, y en noviembre en el polo sur. Las concentraciones de ozono en el ecuador son, en cualquier época del año, alrededor de un 50 % menor que las correspondientes a los polos. (Domenéch, 1997).

### **Procesos catalíticos de destrucción del ozono**

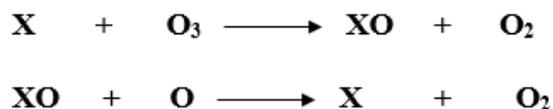
Como el O<sub>3</sub> absorbe fuertemente luz ultravioleta, en la zona situada entre los 10 y los 35 km de altitud. Por consiguiente, todos aquellos contaminantes que lleguen a la estratosfera y reaccionen con éste, significarán una amenaza para los organismos vivos en la superficie terrestre.

Colin Baird (2001) afirma que a inicios de los años sesenta la comunidad científica se dio cuenta que en la estratosfera puede haber más especies químicas, tanto de origen natural como antropogénico, tales como átomos de H, Br o Cl, así como también moléculas de N<sub>2</sub>O, radicales OH, CH<sub>4</sub>, vapor de agua, compuestos clorados, entre otros, que pueden intervenir en procesos químicos que den lugar a la eliminación del O<sub>3</sub>, recuperándose al final del proceso.

Es así que, la amenaza, en relación a la erosión de la capa de ozono, proviene de esas determinadas especies químicas.

Dichos procesos consisten en dos reacciones consecutivas, cuyo balance final es la destrucción del ozono. El mecanismo es el siguiente:

Como puede observarse, la especie X, desencadenante de este proceso, se vuelve a



recuperar al final y el proceso global es la descomposición del ozono:



Así pues, las especies X, son catalizadores para la destrucción del ozono en la estratosfera, pues aumentan la velocidad de la reacción y se recuperan intactos, para iniciar otra vez el ciclo, con la consecuente destrucción de más moléculas de ozono.

### **3.7.2 Procesos cíclicos en la estratosfera**

En este acápite describiremos los distintos procesos cíclicos que ocurren en la estratosfera, los del nitrógeno, del cloro y del radical hidroxilo (OH), de acuerdo con Domenéch (1997).

Y bien, la especie nitrogenada más abundante en la estratosfera es el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gas muy estable que se produce a partir de los procesos de desnitrificación que tienen lugar en el suelo (ciclo del nitrógeno). Este compuesto alcanza la estratosfera y por encima de los 30 Km la mayoría de este compuesto se fotoliza originando nitrógeno molecular,  $\text{N}_2$ , y átomos de oxígenos excitados.



Como proceso de reacción se obtiene oxígeno atómico, especie muy reactiva que interviene en diversos procesos químicos en la estratosfera. Hay que señalar que tan sólo el 5% del  $\text{N}_2\text{O}$  que alcanza la estratosfera produce NO, a través de su oxidación con oxígeno atómico:



Cabe señalar que, este proceso es la principal fuente de NO en la estratosfera.

### **Ciclo del nitrógeno estratosférico**

Una vez formado, el NO inicia el ciclo del nitrógeno a través de una serie de reacciones en cadena, en dos de las cuales se produce la eliminación del ozono.

El NO por un lado interviene como catalizador en los mecanismos de destrucción del ozono, y, por otro lado, inhibe otros mecanismos importantes de eliminación del ozono...

En la zona de la estratosfera media y baja, los óxidos de nitrógeno son los responsables de la destrucción del 50 cincuenta por ciento del ozono total. (Spiro y Stigliani, 2004),

Sin embargo, en la baja estratosfera el efecto global de los óxidos de nitrógeno es la de proteger el ozono, como, por ejemplo, la reacción en la que se produce nitrato de cloro, molécula almacén o depósito.

Estos datos han dado un empuje a la flexibilización del tráfico de aviones supersónicos en la baja estratosfera; sin embargo, aparecen ciertas reticencias debido a que posiblemente las emisiones de estos aviones no permanezcan confinadas en estas latitudes (Spiro y Stigliani, 2004).

En la figura 40 se aprecian los procesos más importantes en los que intervienen especies nitrogenadas.

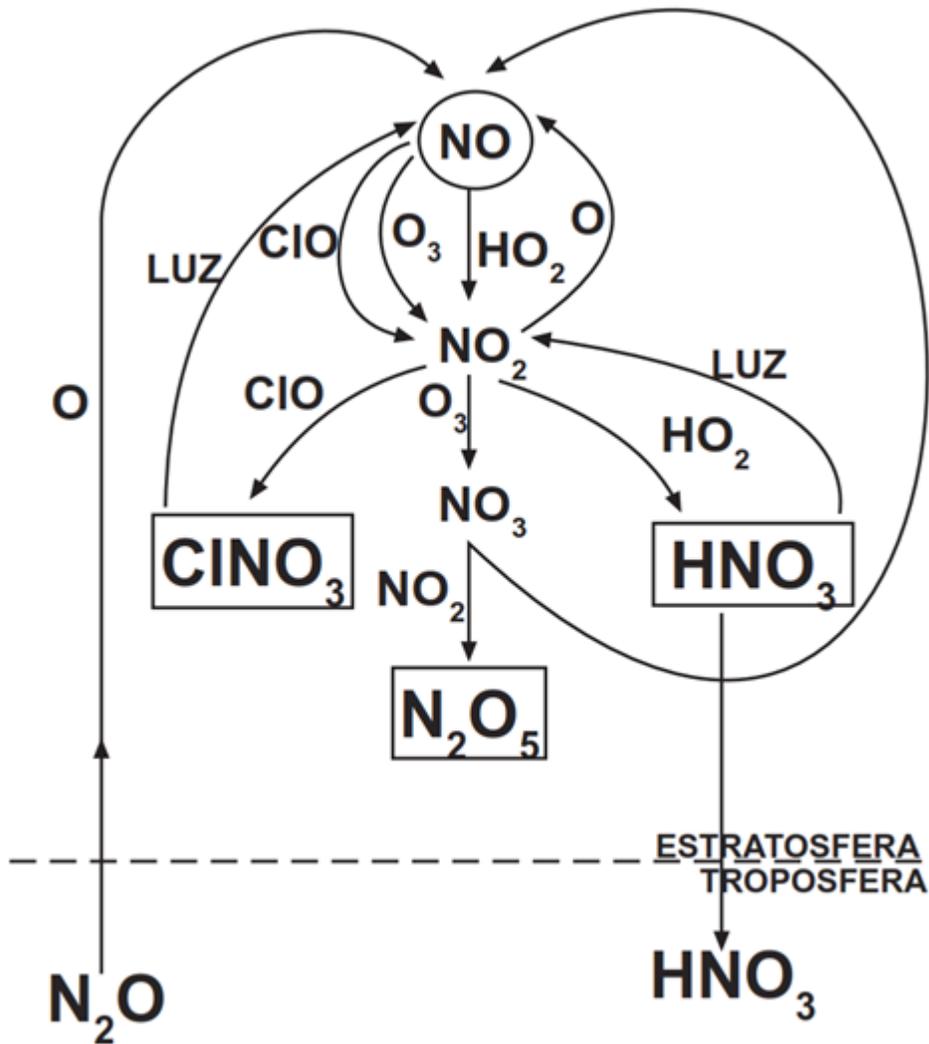


Fig. 40. Ciclo del Nitrógeno Estratosférico. Fuente: Domenéch, 1997

Los compuestos que están en el interior de un recuadro son especies estables que actúan de depósito de óxido de nitrógeno. Se estima que el  $N_2O_5$ , que es una de estas especies- depósito contiene entre el 5 y el 10% del  $NO$  y del  $NO_2$  estratosférico, y que se libera lentamente mediante determinados procesos fotoquímicos. Otra especie depósito de óxidos de nitrógeno es el ácido nítrico ( $HNO_3$ ), en el cual está contenido el 50% de los óxidos de nitrógeno totales.

Parte de este ácido se fotoliza para dar  $\text{NO}_2$  y radicales OH y el resto desciende hacia la troposfera, donde es "lavado" por el agua de lluvia.

El ácido pernítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y el nitrato de cloro ( $\text{ClONO}_2$ ), actúan de especies-depósito, aunque en menor proporción que las restantes. El  $\text{ClONO}_2$ , que se forma por reacción entre el  $\text{NO}_2$  y el ClO, se descompone fotoquímicamente para dar NO.

### **Ciclo del cloro estratosférico**

Ahora abordaremos el ciclo del cloro, siendo este átomo la especie más reactiva y en la cual confluyen la mayoría de los procesos de este ciclo. Esta especie se origina en la estratosfera por la fotólisis de compuestos clorados que provienen de la troposfera a partir de emisiones, fundamentalmente, de origen antropogénico, tales como los CFC o ciertos cloruros de alquilo.

Veamos en la figura 41, los principales procesos que conforman el ciclo del cloro, y fundamentalmente el que conduce a la eliminación del ozono.

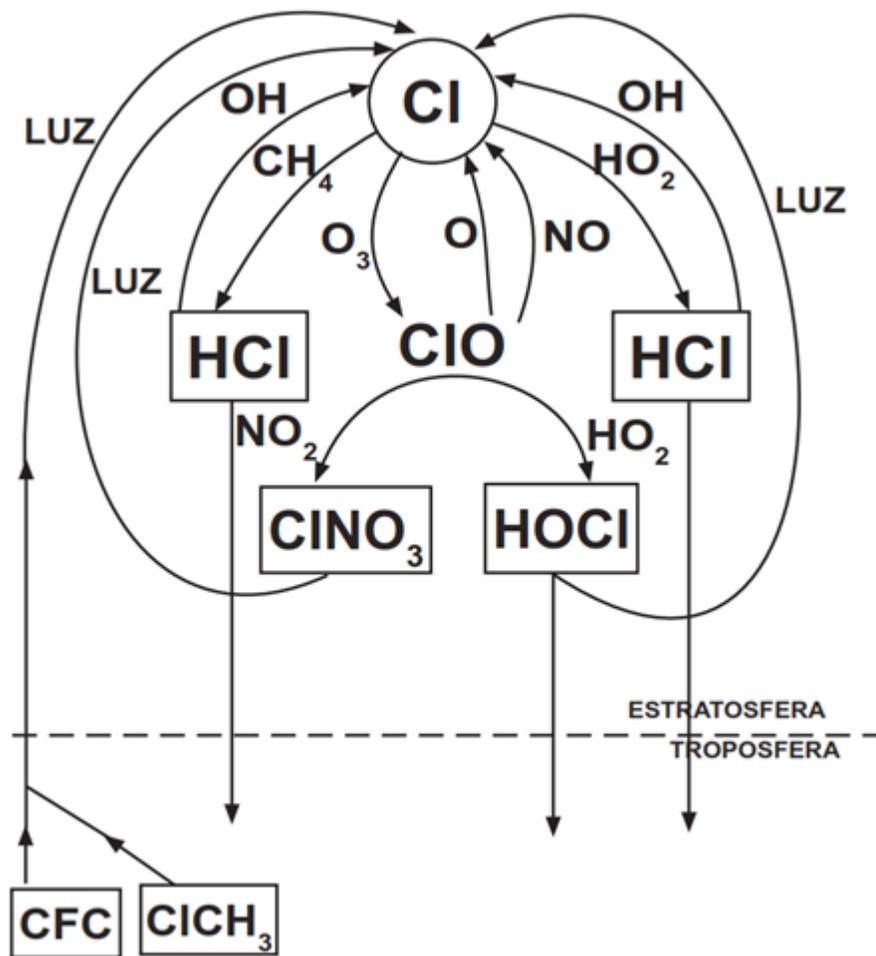


Fig. 41. Ciclo del Cloro Estratosférico. Fuente: Domenéch, 1997

En este caso, la principal especie que actúa de almacén de átomos de cloro es el ácido clorhídrico (HCl), el cual se estima que contiene el 70% del cloro estratosférico. El 30% restante se lo reparten entre el ácido hipocloroso (HClO) y el nitrato de cloro (ClNO<sub>3</sub>).

La formación del HCl tiene lugar, principalmente, a partir de la reacción entre el átomo de cloro y el metano.

A su vez, el metano tiene su origen en emisiones naturales y antropogénicas provenientes de la superficie terrestre. Una vez formado, el HCl se elimina lentamente mediante su reacción con radicales OH presentes en la estratosfera, según el proceso siguiente:



Es así que, se da la regeneración del átomo de cloro y a la formación de agua. Esta última también interviene en la destrucción del ozono a través del ciclo del OH. Por otra parte, el HCl puede descender hasta la troposfera donde, al igual que el  $\text{HNO}_3$ , se incorpora al agua de lluvia.

De manera similar ocurre con la especie HOCl, que es otro compuesto que actúa de reserva de cloro estratosférico y que, a causa de su elevada solubilidad en agua, puede ser arrastrada también por el agua de lluvia hacia la superficie terrestre.

### **Ciclo del OH Estratosférico**

Otra especie muy reactiva que está presente en la estratosfera es el radical OH.

Si bien la concentración de esta especie es baja, del orden de siete millones de moléculas por  $\text{cm}^3$ , dado que interviene en procesos cíclicos en que continuamente se va generando, su actividad química resulta significativa.

Tal como se observa en la figura 42, las fuentes más importantes de formación del OH son, el metano, que proviene de la troposfera, y el agua generada "in situ" a partir de otros procesos que transcurren en la estratosfera.

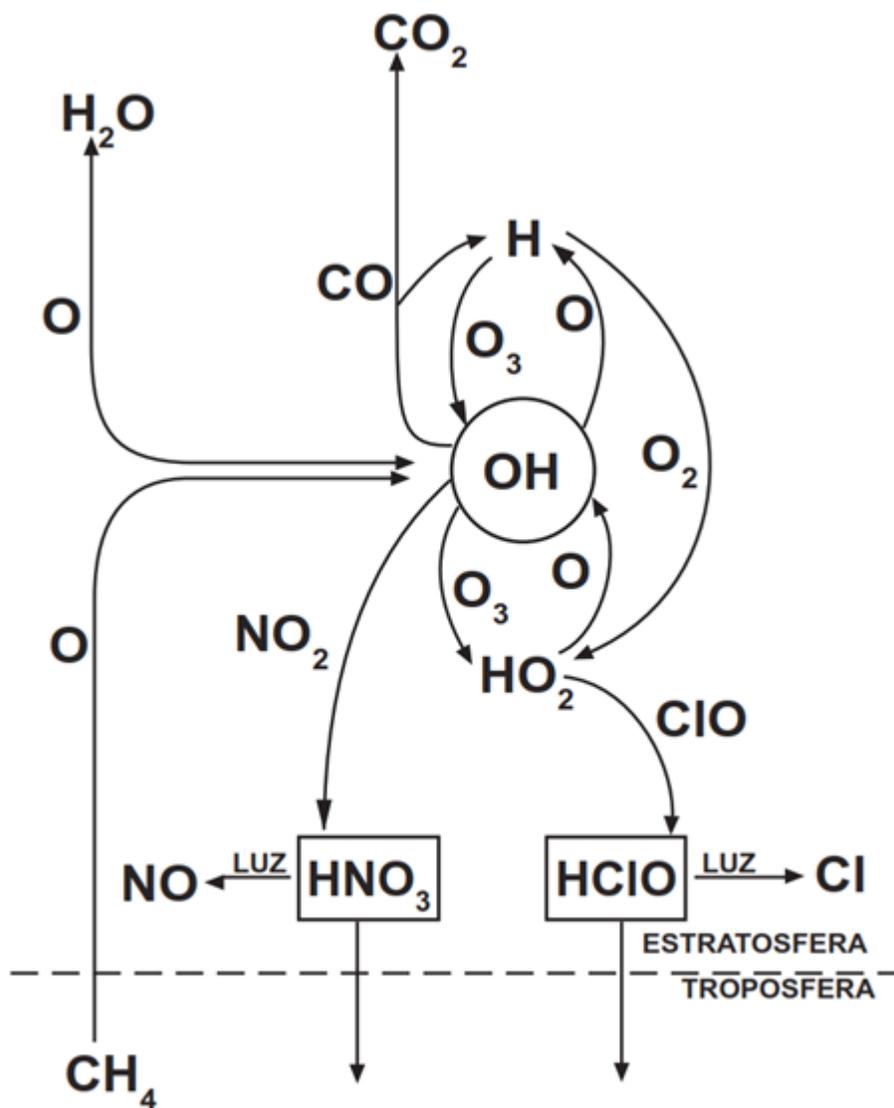


Fig. 42. Ciclo del OH Estratosférico. Fuente: Domenéch, 1997

Se conoce que, la concentración media de vapor de agua en esta región de la atmósfera es de unos billones de moléculas por  $\text{cm}^3$ , y se genera de la oxidación de los ácidos nítricos y pernítrico estratosférico. Aunque, la mayor parte del vapor de agua se forma de la oxidación del metano, en un proceso en cadena compuesto de varias etapas elementales.

Por otro parte, las especies  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HOCl}$ , son los compuestos a través de las cuales tiene lugar la eliminación del OH estratosférico. Observaremos también que el radical OH interviene en dos ciclos catalíticos de eliminación del ozono. Finalmente, el  $\text{HNO}_3$  y el  $\text{HOCl}$  actúan de sustancias-depósito de radicales OH. Estas dos especies se descomponen lentamente mediante un proceso fotoquímico, para generar, no solamente radicales OH, sino también NO y Cl, que como se ha visto también contribuyen a la eliminación del ozono.

### **Previsiones para el ozono**

En la actualidad la química del ozono se conoce con bastante detalle, por tantos, los científicos atmosféricos pueden predecir con bastante fiabilidad mediante la aplicación de modelos atmosféricos, posibles cambios en la capa de ozono. Se prevé que hacia el año 2040, la concentración de cloro descienda a dos partes por billón, concentración de ozono presente en el año 1970, año en que se inicia la formación del agujero de ozono, y a 1ppb al final del siglo XXI. Aunque las pérdidas de ozono son aún elevadas, se espera que la situación mejore a medida que los niveles de cloro disminuyan. (Spiro y Stigliani, 2004).



### 3.8 Química de la Troposfera

La troposfera, como ya hemos visto, es la capa más baja de la atmósfera de la Tierra. Comienza a nivel del suelo y alcanza una altitud de 17 kilómetros sobre el nivel del mar.

Es una región muy dinámica en donde ocurren frecuentes fenómenos meteorológicos que ayudan al transporte y a la eliminación de los contaminantes atmosféricos.

Es importante subrayar que, casi todos los estados del tiempo ocurren en esta capa. Cabe destacar que, el aire es más caliente en la parte inferior de la troposfera cerca del nivel del suelo. Más arriba, el aire se enfría. La presión y la densidad del aire también son menores en elevadas altitudes.

Ahora bien, si bien es cierto que los contaminantes son libres de circular por toda la troposfera, la distancia que recorran dependerá mucho de su inercia química.

En este sentido, la troposfera es una zona muy agitada desde el punto de vista químico, pues en su seno tienen lugar una gran variedad de reacciones químicas que provocan la transformación de las sustancias contaminantes.

### 3.8.1 Química del radical OH

El papel central de la química que se desarrolla en la troposfera lo juegan los radicales OH, especies muy reactivas que causan la degradación de la mayoría de los contaminantes emitidos desde la superficie terrestre. (Ver figura 43).

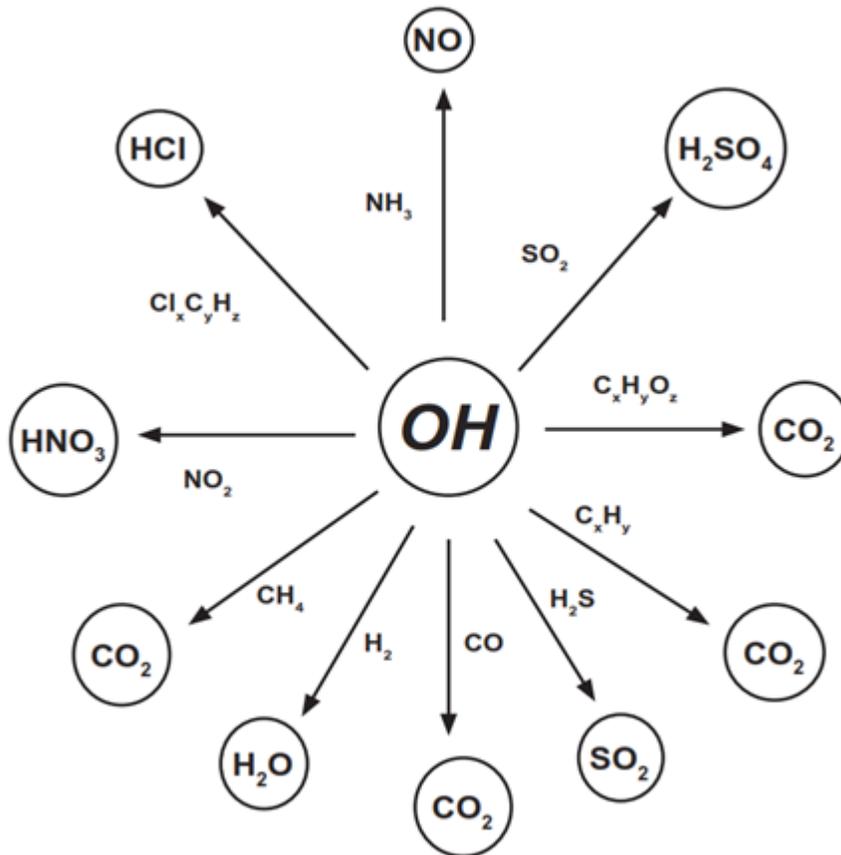


Fig. 43. Actividad química en la troposfera. Fuente: Domenéch, 1997

No obstante, a pesar del efecto benéfico de los radicales OH, que en realidad forman parte de un mecanismo de autodepuración de la atmósfera, su acción también puede generar efectos nocivos. Este es el caso, por ejemplo, de la oxidación de los óxidos de azufre y nitrógeno por parte de los radicales OH.

Este proceso da lugar a los correspondientes ácidos, y es la causa de la acidificación del agua de lluvia. Desafortunadamente, la lluvia ácida, es muy nociva para los ecosistemas terrestres y acuáticos. Se sabe, que ésta está provocando degradación de extensas zonas forestales en el hemisferio norte, así como la mortandad de especies acuáticas en lagos y ríos.

Como podemos ver, los radicales OH son importantes en las transformaciones químicas que ocurren en la troposfera. Sin embargo, la emisión continuada de contaminantes oxidables y a elevadas concentraciones, introduce un factor de estrés respecto a la capacidad autodepuradora de la atmósfera.

Este factor, no es más que la disminución de los niveles de radicales OH en la troposfera, lo cual origina el deterioro de la barrera química que impide a los contaminantes acceder a la estratosfera, resultando en una amenaza para la integridad de la capa de ozono. (Domenéch, 1997).

### **3.8.2 La actividad química en la troposfera. Ciclos del nitrógeno y azufre**

Como se destacó anteriormente, la principal fuente de generación de radicales OH proviene del ozono estratosférico. De acuerdo con Domenéch (1997), se estima que la cantidad de ozono que traspasa la tropopausa y se introduce en la troposfera es de unas mil toneladas por año.

La eliminación del ozono a través de reacciones homogéneas y, por otro lado, su generación a partir de determinados precursores de origen biogénico, completan el balance del ozono en la parte baja de la atmósfera. En la figura 44 se esquematizan los principales procesos químicos que tienen lugar en la troposfera y en los que interviene el radical OH.

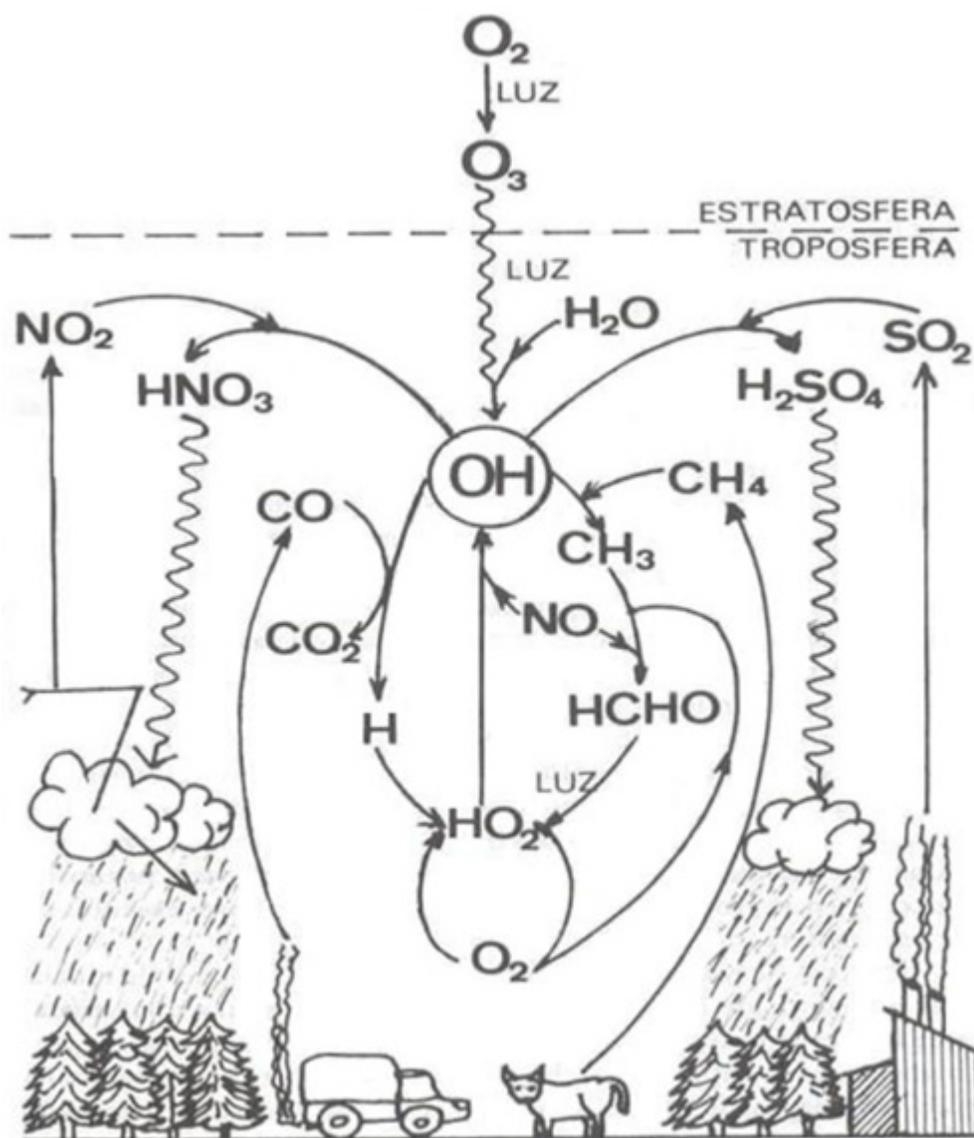


Fig. 44. Reacciones químicas en la troposfera. Fuente: Domenéch, 1997

Así que, el ozono en la troposfera se disocia fotoquímicamente por absorción de luz solar de longitud de onda inferior a los 310 nanómetros. A través de este proceso se origina un átomo de oxígeno excitado (O.) según el siguiente proceso:

A su vez, oxígeno excitado (O.), que es una especie muy reactiva, provoca la disociación de una molécula de agua, dando dos radicales OH:



Una buena parte del oxígeno excitado que se genera, cede su exceso de energía a una tercera molécula, como, por ejemplo, el oxígeno o el nitrógeno molecular, dando átomos de oxígeno desexcitados (O). Estos últimos regeneran el ozono por combinación con oxígeno molecular:



Es importante destacar aquí, que debido a los principales problemas ambientales que produce la presencia de ozono troposférico en la actualidad, es necesario la gestión del riesgo.

Esto con la intención de minimizar los riesgos originados por concentraciones que exceden los límites establecidos de ozono en la troposfera.

Los radicales OH producen también la oxidación del CO a CO<sub>2</sub>. Igual ocurre con el metano, cuya oxidación por los radicales OH es también muy eficiente. En este sentido, prácticamente la totalidad del CO troposférico (alrededor del 95%) es oxidado a CO<sub>2</sub> por reacción con el radical OH, mientras que éstos son los responsables del 85% de la degradación del metano.

Se ha constatado que los niveles de CO y de CH<sub>4</sub> en la atmósfera han ido aumentando paulatinamente desde mediados del siglo XX a un ritmo anual de un 2% y un 1%, respectivamente. Con estas velocidades de acumulación de CO y CH<sub>4</sub> se estima que la concentración de radicales OH en la troposfera ha disminuido en un 25% en este intervalo de tiempo.

Los óxidos de nitrógeno, y sobre todo el NO y el NO<sub>2</sub>, juegan un papel importante como intermedios en varios procesos químicos en la troposfera. El 66 % óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera es de origen antropogénico; siendo la combustión de carburantes fósiles en un 42 % y la quema de biomasa en un 24%, los procesos que dan lugar a la formación de los óxidos de nitrógeno.

Por otro parte, un 6% de los óxidos generado es emitido también desde la superficie terrestre a través de la actividad microbiana en el suelo donde, además del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), se emite óxido nítrico (NO). El 18 % restante, se genera directamente en la atmósfera, ya sea en descargas eléctricas o por introducción en la troposfera de óxidos de nitrógeno provenientes de la estratosfera.

No obstante, la mayor parte de los óxidos de nitrógeno que se emiten, permanecen en la capa de mezcla, donde reaccionan con los radicales OH para dar ácido nítrico. Finalmente, este ácido retorna a la superficie terrestre, por ejemplo, por deposición húmeda. En consecuencia, **la vida media de los óxidos de nitrógeno** es de tan sólo de unas seis a diez horas en **verano**, y de **unos pocos días en invierno**, debido a la menor temperatura reinante. Así, pues, a pesar de la elevada velocidad de producción de los óxidos de nitrógeno tanto por medios naturales como antropogénicos, en la atmósfera está presente a concentraciones muy bajas, de alrededor de algunas partes por millón.

Por otro lado, el NO actúa de intermediario en varios procesos químicos, como, por ejemplo, en la formación de radicales OH a partir de las especies HO<sub>2</sub> o también en la oxidación del CH<sub>4</sub> a formaldehído (HCHO).

Los compuestos de azufre en los procesos químicos que transcurren en la troposfera, también juegan un papel muy importante. La cantidad de compuestos de azufre emitidos por el ser humano es de unos 210 millones de toneladas al año. Sin embargo, la que se emite a partir de procesos naturales es de aproximadamente la mitad.

Ahora bien, las emisiones naturales de compuestos de azufre comprenden, básicamente, gases en forma reducida, como el SH<sub>2</sub>, el SCO, el sulfuro de metilo y el sulfuro de dimetilo.

Por el contrario, el ser humano emite azufre en forma totalmente oxidada, preponderantemente  $\text{SO}_2$ , a causa de la combustión de carburantes fósiles con un elevado contenido en azufre.

Así pues, el radical OH es el responsable de la oxidación de los óxidos de azufre y de nitrógeno presentes en la troposfera, dando lugar a los correspondientes ácidos sulfúrico y nítrico. Estos ácidos se incorporan al agua de lluvia y contribuyen a su acidificación.

Otra especie nitrogenada que tiene cierta importancia en la química troposférica es el nitrato de peroxiacetilo (PAN). Su tiempo de residencia en la alta troposfera es de unos cuantos meses, lo suficiente como para que pueda ser transportado a distancias de más de 10 mil km., siempre a lo largo de un mismo hemisferio. El tránsito de un hemisferio a otro está prácticamente impedido, puesto que para ello se requiere tiempos de residencia superiores a un año. Esta especie, que actúa como depósito de óxidos de nitrógeno en la troposfera, se forma por combinación de un radical peroxia-cetilo ( $\text{CH}_3\text{CO}_3$ ) con una molécula de  $\text{NO}_2$ :



El radical peroxiacetilo está presente en la atmósfera a baja concentración (entre 0,1 y 0,3 ppb), y proviene, fundamentalmente, de la oxidación del acetaldehído ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ) por medio de los radicales OH.

El proceso químico es el siguiente:



El tiempo de residencia del PAN (nitrato de peroxiacetilo) en la alta troposfera es de unos cuantos meses, lo suficiente como para que pueda ser transportado a distancias de más de 10 mil km., siempre a lo largo de un mismo hemisferio. El tránsito de un hemisferio a otro está prácticamente impedido, puesto que para ello se requiere tiempos de residencia superiores a un año. (Domenéch, 1997)

### **3.8.2 Efectos perjudiciales de la lluvia ácida**

De acuerdo con Manahan (2007), existe una amplia evidencia de los efectos perjudiciales de la lluvia ácida. Los mayores efectos son los siguientes:

- Fitotoxicidad directa de las plantas por concentraciones ácidas excesivas
- Fitotoxicidad de los gases formadores de ácidos, particularmente  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  que acompañan la lluvia ácida
- Fitotoxicidad indirecta, como la del  $\text{Al}^{+3}$  liberado del suelo
- Destrucción de bosques sensibles
- Efectos respiratorios en los seres humanos y otros animales
- Acidificación del agua de los lagos con efectos tóxicos a la flora y fauna lacustres, especialmente las crías de los peces o alevines

- Reducción de la visibilidad por los aerosoles de sulfato
- Corrosión de estructuras expuestas, equipos y materiales ornamentales, debido al efecto del ión hidrógeno, la calcita  $\text{CaCO}_3$ , es especialmente susceptible a dañarse por la lluvia ácida.

Y bien, la lluvia ácida producida por contaminantes gaseosos, tales como, el dióxido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , ente otros) provenientes de volcanes y procesos industriales, y del parque automotor, tiene un pH menos que 5.6. Los lagos y lagunas suelen tener un pH entre 6 y 7; pero con la lluvia ácida las aguas de éstos cambian ocasionando la muerte de los huevos, embriones y larvas de peces y anfibios, por su sensibilidad al incremento de la acidez. Además, los organismos acuáticos no pueden reproducirse y los cuerpos de agua quedan sin vida.

Así mismo, se ha comprobado que la lluvia ácida cambia la composición del suelo y debilita los árboles, dejándolos más susceptibles a enfermedades. En la hoja deja un agujero circular casi perfecto con una aureola blanca alrededor. Así también, la materia inerte se deteriora rápidamente bajo los efectos del ácido. Muchas veces la lluvia ácida cae a miles de kilómetros de su fuente de origen, de tal manera que su afectación no sólo es local sino transfronteriza. En la imagen se muestran los efectos de las lluvias ácidas en el poblado El Crucero, Managua, producidas bajo la influencia de los gases que emanan del volcán Masaya.



Fig.45. En la hoja se observan agujeros como consecuencia de los efectos de la lluvia ácida. Fuente: propia.

### 3.9 Química de la capa de mezcla smog fotoquímico

Todos estamos familiarizados con el término smog, pues frecuentemente escuchamos sobre el mismo en la televisión, en la radio o leemos acerca de esta problemática ambiental en la web revistas, artículos científicos, periódicos y otros. Aunque, quizás no conocemos su significado, ni a profundidad cómo se forma y cuáles son los efectos que produce.

Pues bien, el término smog, proviene de las palabras inglesas "smoke" (humo) y "fog" (niebla). Así que, el smog es una niebla tóxica de humo y partículas en suspensión de color amarillo-parduzco. El smog fotoquímico surge cuando los fotones de la luz solar chocan con moléculas de diferentes tipos de agentes contaminantes en la atmósfera.

Estos fotones producen reacciones químicas convirtiéndose en otros productos químicos nocivos. Los químicos presentes en el smog incluyen óxidos de nitrógeno, componentes orgánicos volátiles (COV), ozono troposférico y nitrato de peroxiacetilo (PAN).

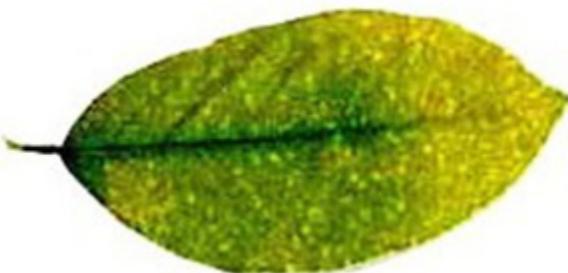
Colin Baird (2001) afirma, que a nivel mundial el smog fotoquímico se manifiesta en muchas áreas urbanas con bastante tráfico o con grandes industrias. Estas áreas sufren episodios de contaminación del aire, durante los cuales se producen relativamente niveles altos de ozono a nivel del suelo, como resultado de reacciones inducidas por la luz entre los contaminantes. Señala que las sustancias como el NO, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos volátiles (COV) que se emiten inicialmente al aire, son los contaminantes primarios y, los que se forman a partir de ellos son los contaminantes secundarios como O<sub>3</sub> y HNO<sub>3</sub>.

Es importante destacar aquí que, en vista de la escasez mundial de alimentos, los conocidos efectos dañinos del smog fotoquímico sobre las plantas, son principalmente debido a oxidantes en la atmósfera con neblumo o smog fotoquímico, tales como, el O<sub>3</sub>, PAN y óxidos de nitrógeno. De éstos el PAN, tiene la toxicidad más alta para las plantas, atacando las hojas más jóvenes y causando el "bronceado" y "vidreado" de sus superficies.

La baja toxicidad de los óxidos de nitrógeno y los niveles normalmente bajos de PAN, hidroxiperóxidos y otros oxidantes presentes en el neblumo, hacen del oxono la mayor amenaza para la vida de las plantas.

Algunas especies vegetales como las lechugas, moras y algunas especies de tomates, son tan susceptibles a los efectos del ozono y otros oxidantes fotoquímicos que se usan como bioindicadores de la presencia de neblumo.

El daño del ozono a una hoja de limón, se caracteriza por un moteado clorótico (manchas amarillas características en una hoja verde). (Manahan, 2007).



**Fig. 46. Hoja de limón con moteado clorótico**

Ahora bien, ¿cómo se produce el smog fotoquímico? Los reactivos o ingredientes necesarios que generan un episodio de smog fotoquímico son la luz solar, y óxidos de nitrógeno e hidrocarburos no quemados que se emiten al aire por los motores de combustión interna de los vehículos y por otras fuentes.

Las sustancias que se evaporan fácilmente, incluidos los hidrocarburos, se denominan compuestos orgánicos volátiles (COVs), que son generados por una multitud de productos químicos, tales como agen-tes de pintura y de limpieza.

Colin Baird (2001), indica que los productos finales del smog fotoquímico son ozono, ácido nítrico y compuestos orgánicos (a veces nitrados) parcialmente oxidados.

Veamos a continuación la ecuación química:



Ahora bien, el ozono a nivel del suelo resulta bastante perjudicial, sus efectos nocivos derivan de sus características de oxidante fuerte. De ahí, el peligro del smog, ya que el principal contaminante de éste, es el ozono.

Es importante destacar, que la contaminación atmosférica es transfronteriza por lo que sucede en zonas donde no se generan contaminantes que provoquen smog. Debido al transporte de largo alcance de los contaminantes que producen el smog en las corrientes de aire, zonas donde en éstas no se generan contaminantes que provoquen smog, pueden sufrirlo debido a este transporte.

Así pues, los productos químicos tóxicos formados en una niebla fotoquímica pueden irritar las vías nasales y los ojos. De modo que, los problemas respiratorios pueden agravarse debido a la exposición prolongada a condiciones de smog. Algunas de las toxinas generadas por reacciones químicas en el smog fotoquímico se consideran cancerígenos. La naturaleza ácida de la niebla con humo, también puede causar daños al medio ambiente y deterioro estructural de la infraestructura.

Al respecto, es importante traer a colación lo que dice emol noticias tecnología, el 23 de enero de 2016, en cuanto a que China construirá la mayor cúpula del mundo para la creación artificial de contaminación.

Esto lo harán para estudiar cómo luchar contra el smog que los está afectando cada vez de forma más grave y prolongada. Se conoce que para el 2013, en las principales ciudades de China, la contaminación del aire provocó 275.000 muertes prematuras.



Fig. 47. El smog reduce la visibilidad, irritando a los ojos y el aparato respiratorio  
Fuente: <http://goo.gl/tskAIZ>

En síntesis, el smog fotoquímico afecta, principalmente a las grandes ciudades donde la concentración de contaminantes en la atmósfera es elevada. Su mayor incidencia se da en las horas centrales del día, cuando la radiación solar es más intensa, acelerando la producción de los contaminantes secundarios.

También, cuando hay relativamente pocos movimientos de masas de aire (vientos débiles), dificultando que los contaminantes no se diluyan ni dispersen. Así mismo, es la causa de muertes prematuras y enfermedades respiratorias en las ciudades que son altamente vulnerables frente a este fenómeno.

## 3.10 Calentamiento Global

En este apartado nos referiremos al fenómeno conocido como calentamiento **global**, que es el aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre. La causa del calentamiento, es el aumento de los gases de efecto invernadero que resultan de las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles (carbón, gasolina, gas natural y petróleo) y la deforestación.

También abordaremos, de forma resumida, las principales causas que lo originan; así como los efectos y las alternativas que se plantean para enfrentar las amenazas y los riesgos que se derivan de este fenómeno potencialmente peligroso para el equilibrio de nuestro Planeta.

Tal como lo afirma Colin Baird (2001), "el fenómeno del calentamiento global rápido -y sus consecuentes ajustes a gran escala- es considerado, en general, como uno de nuestros problemas ambientales más cruciales en todo el mundo"

Antes de adentrarnos en este tema, es importante diferenciar entre calentamiento global y cambio climático global, pues el primero es el aumento de temperaturas superficiales a escala global, en tanto que el segundo, abarca al calentamiento global y todos los otros aspectos sobre los que influye un aumento de los gases de efecto invernadero, que será tratado más adelante en este mismo apartado cuando hagamos una breve referencia a este aspecto.

Ahora bien, la evidencia sobre el calentamiento global se basa en el monitoreo sistemático del incremento de la temperatura del aire y de los océanos, el derretimiento de hielos y glaciares en todo el mundo y el aumento de los niveles del mar a nivel mundial, así como otros indicios claros de cambio. ¿Pero qué es lo que causa el calentamiento global?

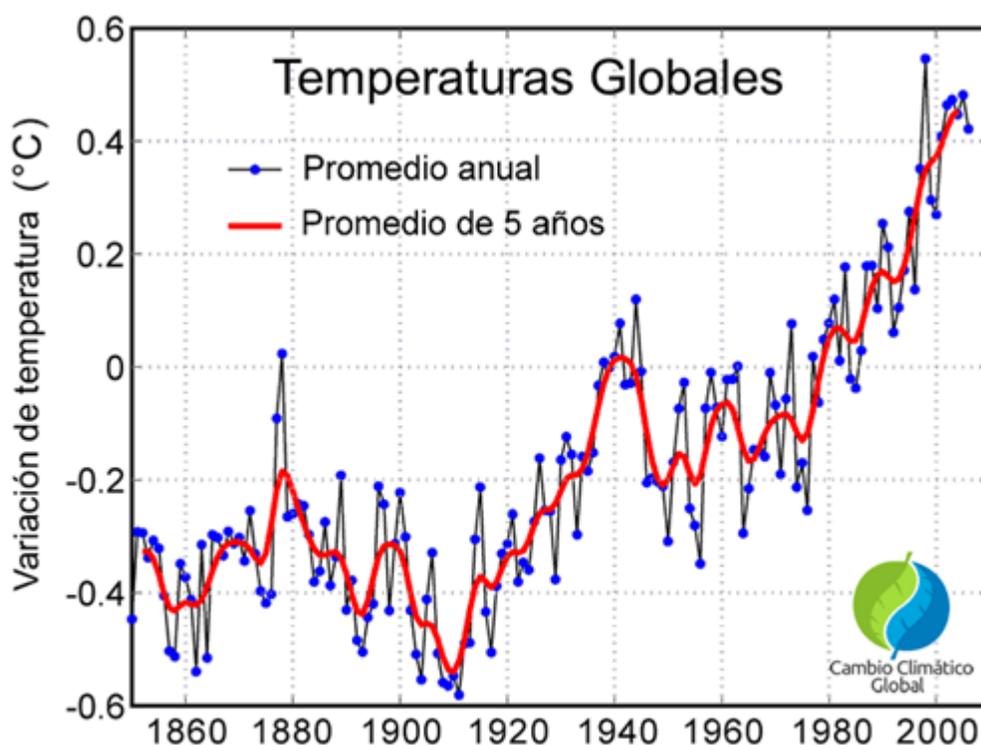


Fig. 48. Fig. Aumento de las temperaturas globales desde la segunda mitad del siglo XIX, hasta el año 2000. Fuente: <http://goo.gl/n20dxd>

Veamos a continuación algunas de las causas principales:

- **Cambios introducidos a partir de la revolución industrial** con la transformación de la agricultura, ganadería e industria, trajeron como consecuencia la quema intensificada de combustibles fósiles (gas, petróleo, carbón). Esto nos ha

llevado a incrementos graduales de CO<sub>2</sub> que es uno de los gases de efecto invernadero. Fuente: adaptación al cambio climático, cuaderno de consulta, elaborado por CARE, Nicaragua.

- **La deforestación a escala global** es otra de las causas importantes del calentamiento global, pues como es sabido, los bosques son sumideros de carbono y con ello tienen la singularidad de mantener en equilibrio este tipo de gases de efecto invernadero y por ende la regulación del clima en el planeta.
- **El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**, gas que se origina mediante procesos biológicos, tanto en océanos como en tierra, pero también producido en procesos industriales, como ya se ha mencionado, generado también por el parque automotor, producción de nylon y ácido nítrico, quema de biomasa, entre otros. Este gas destruye fotoquímicamente la alta atmósfera, contribuyendo al calentamiento global.
- **La producción diaria de millones de toneladas de basura.** La mayor parte de ésta no se recicla, sino que es quemada, emitiendo gases que van a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global.
- **De acuerdo con Cabrera, Mayra (10 causas del calentamiento global)**, el cultivo de arroz con riego por anegamiento, produce metano y óxido nitroso, dos gases que contribuyen al calentamiento global. Se sabe que el metano, es un gas 20 veces más potente que el CO<sub>2</sub>. Es por ello que actualmente

se buscan alternativas para la reducción significativa del tiempo de riego y el uso de la cascarilla de arroz como combustible ecológico, entre otras.

## **Principales efectos del calentamiento global**

Se prevé que el incremento acelerado de la temperatura a nivel global, conducirá a cambios, tales como los que ya se están observando a escala mundial. A continuación, se enlistan algunos de los efectos del calentamiento global, de acuerdo con el sitio web, cambio climático global.com:

- **Aumento del nivel del mar.** El nivel mundial del mar ha aumentado 17 centímetros en el siglo XX. El aumento del nivel del mar en la última década es casi el doble del siglo pasado.
- **Aumento de la temperatura global.**
- **Según la Organización Mundial de la Salud, el aumento de la temperatura,** las precipitaciones y la humedad facilitarán que los insectos tropicales y subtropicales, vectores de enfermedades como la malaria o el dengue, extiendan su hábitat a nuevas áreas, incluso del hemisferio norte, como por ejemplo EE.UU. (<http://actualidad.rt.com/>).
- **Los océanos han absorbido la mayor parte del aumento de calor,** los 700 metros superiores de los océanos muestran un aumento de 0.302 grados Fahrenheit desde 1969.

- **Intensificación de eventos meteorológicos extremos**, tales como huracanes, tifones, sequías e inundaciones, con la consecuente pérdida de vidas humanas, daños a la producción y a la infraestructura.
- **Desplazamiento de poblaciones**. Se estima que para el año 2050 unos 200 millones de personas podrían verse obligadas a abandonar sus hogares debido a los cambios ambientales.
- **Las placas de hielo disminuyen en masa**, ocasionando un incremento en el nivel del mar y la disminución del agua dulce para la producción, recreación y consumo humano.
- **Acidificación de los Océanos**. Desde el inicio de la Revolución Industrial la acidez de las aguas superficiales de los océanos ha aumentado en un 30%. Como resultado de la absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico que ha aumentado por las emisiones humanas.
- **Expansión de la desertificación en las regiones tropicales**.
- **Pérdida de biodiversidad**, tanto en los continentes, áreas insulares; así como en los océanos, debido a los cambios de temperatura.

Ahora bien, se estima que el aumento de la temperatura promedio global es mayor a 4°C en comparación con las temperaturas preindustriales. Así que, en muchas partes del mundo ya los sistemas naturales no podrán adaptarse y, por tal razón, no podrán sustentar a sus poblaciones.

De modo, que los recursos naturales serán insuficientes para sustentar la vida humana en las condiciones actuales.

Como hemos podido ver, el calentamiento global, es un fenómeno que constituye una amenaza para el equilibrio de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Esto nos plantea grandes desafíos, mismos que requieren del concurso de todos los pueblos y naciones del mundo en la búsqueda de alternativas orientadas a la solución de los problemas ambientales de origen natural y antrópicos; que pasa por la reducción de la huella ecológica en nuestro Planeta. Al final de este apartado haremos una referencia rápida a las medidas de mitigación y adaptación frente al calentamiento global y cambio climático.



### **3.11 Efecto invernadero**

Iniciaremos este apartado haciéndonos las siguientes interrogantes:

¿Qué es el efecto invernadero? y ¿cómo se produce?

Bien, a lo largo del desarrollo de este acápite iremos dando respuesta a estas interrogantes. A continuación, se presenta una de las tantas definiciones de efecto invernadero.

Cabe destacar, que el efecto invernadero no es un fenómeno reciente, pues ha existido desde el mismo momento en que se formó la atmósfera terrestre. Afortunadamente, es lo que favoreció el desarrollo de un ambiente cálido, favorable para el surgimiento y evolución de la vida en nuestro maravilloso planeta.

¿Pero por qué ahora nos preocupa sobre manera el efecto invernadero y sus consecuencias?. Pues bien, el problema surge a partir de la acción antropogénica, responsable del incremento sistemático de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Y como ya lo hemos señalado anteriormente, al hablar del calentamiento global, dichos gases provienen, principalmente, de la quema de combustibles fósiles en actividades industriales, el parque automotor, generación de energía eléctrica, incendios forestales, ganadería y agricultura; especialmente el cultivo de arroz y muchas otras actividades.

Todo lo anteriormente expuesto, está ocasionando el recalentamiento de la atmósfera, superficie emergida de la tierra y cuerpos de agua, con las consecuencias que ya conocemos.

¿Cómo se produce el efecto invernadero?

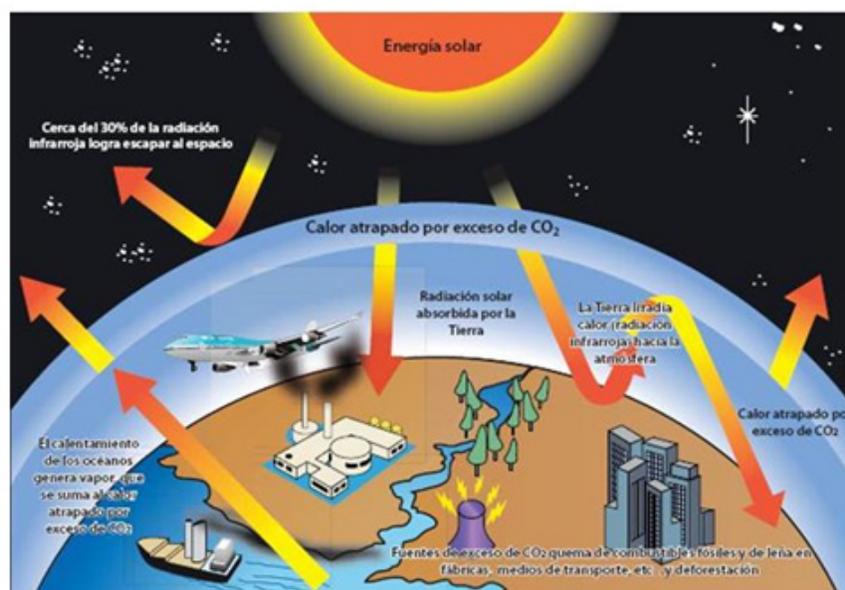


Fig. 49. Se ilustra de forma esquemática el fenómeno del efecto invernadero.  
Fuente: <http://goo.gl/BTr1nV>

Bien, parte de la radiación solar que incide sobre la tierra es aprovechada por las plantas en el proceso fotosintético. Otra parte es absorbida por la tierra, el aire y el agua y, una parte importante es reflejada como radiación infrarroja de onda larga. Una buena parte de esta radiación es retenida por los GEI, provocando el incremento de la temperatura, es decir, el calentamiento global. Cabe destacar, que también hay fuentes naturales de efecto invernadero, como las grandes erupciones volcánicas que emiten grandes cantidades de gases y polvo, que dependiendo de la magnitud pueden llegar a afectar el clima global.



### **3.12 Alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático**

Entre las medidas que se vienen adoptando para enfrentar el calentamiento global y sus efectos, se incluyen las siguientes:

- Reducción de la quema de los combustibles fósiles a través de la migración a fuentes de energías renovables y limpias, tales como: eólica, solar, geotérmica, hídrica, entre otras.
- Impulso de programas y proyectos de reforestación, como principal alternativa para la reducción del CO<sub>2</sub>, dado que es el gas de efecto invernadero más importante en la atmósfera.
- Reducción drástica del consumo, que pasa por la disminución de la utilización de combustibles fósiles y por ende el de la producción de residuos altamente contaminantes.

- Migración hacia una agricultura y ganadería más amigables con el medio ambiente, es decir, con enfoque ecológico. Y todas las medidas que se puedan adoptar con relación a la mitigación y adaptación al cambio climático global.



Fig. 50. Representación de la agricultura ecológica vs agricultura convencional.

Fuente:  
<http://goo.gl/q3tWHS>

Cumplimiento de los convenios o acuerdos tomados en las cumbres mundiales, como los que recién se han firmado en Paris COP 21. Misma en la que se plantea mantener las emisiones de CO<sub>2</sub> por debajo de 2°C, similares a los niveles preindustriales.

Un avance importante, es el relacionado con el establecimiento de un fondo de 100000 millones de dólares para ayuda de los países en vías de desarrollo. Lo malo es que con ello se pretende trasladar la responsabilidad en la asunción de una justicia climática con los países que han saqueado sistemáticamente sus recursos naturales.

Se dice también, que los acuerdos en esta cumbre tienen un carácter vinculante para todos los países que los han suscrito, y cuyo cumplimiento será revisado cada cinco años. Sin embargo, aún está por verse cuáles serán los mecanismos que se establecerán para asegurar el cumplimiento de los acuerdos tomados en la COP 21 y más importante aún, si habrá equidad y reciprocidad en la aplicación de los mismos por todos los países que los han suscrito.

A modo de síntesis, podemos decir, que el calentamiento global se produce por el incremento acelerado y sistemático de los gases de efecto invernadero, derivados principalmente de la quema de combustibles fósiles. Este fenómeno amenaza nuestra supervivencia y la de todos los seres vivos que tienen su hábitat en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los efectos ya son visibles, tal como se ha descrito en este apartado.

Asimismo, el efecto invernadero es lo que ocasiona el recalentamiento de la Tierra, produciéndose a su vez el cambio climático global.

Así que, es tiempo de actuar, si queremos salvar nuestro planeta y salvarnos nosotros mismos, no podemos seguir de brazos cruzados e indolentes frente a los desequilibrios que hemos provocado con nuestros estilos de vida despilfarradores.

De modo, que es un imperativo el cambio de actitud y de comportamiento, asumiendo con honestidad y responsabilidad todas las medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático.



### **3.13 Efectos de los contaminantes del aire sobre la salud humana y ambiental**

Como ya lo hemos mencionado, la contaminación atmosférica debido a su movilidad es transfronteriza, por lo que es casi imposible escapar a sus efectos. Los contaminantes del aire causan serios daños al medio ambiente y a nuestra salud. En este sentido, la contaminación del aire provoca indirectamente la contaminación del agua y del suelo. La humedad en el aire se combina con las emisiones tóxicas, generando lluvia ácida, produciendo acidificación de las aguas superficiales y los suelos; transformándose en zonas altamente contaminadas en las que ya no pueden prosperar las plantas y los animales.

Ahora bien, en lo que concierne a los efectos sobre la salud las partículas atmosféricas al ser inhaladas a través del tracto respiratorio pueden dañar la salud. Las mujeres embarazadas y sus niños, así como las personas asmáticas, son los grupos más vulnerables ante la contaminación atmosférica.

Un ejemplo clásico, referido por Manahan (2007), es el ocurrido en Londres en 1952, en que una inversión de temperatura estabilizó una masa de aire cargado con niebla, partículas de carbón, compuestos de azufre oxidado y otras partículas. Los datos epidemiológicos mostraron que hubo aproximadamente unas 4,000 muertes.

En los últimos años ha habido un importante avance en el conocimiento y comprensión de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, proporcionado por un gran número de trabajos científicos en todo el mundo. Así, por ejemplo, el smog, como ya se ha mencionado, ocasiona problemas respiratorios e irritaciones oculares. Las plantas son extremadamente vulnerables al ozono e inclusive en bajas concentraciones. Dichos estudios han puesto de manifiesto la importancia de la calidad del aire en la salud humana.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), afirman que la inhalación de contaminantes, especialmente de partículas finas, representa un aumento de riesgo de defunción prematura. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón.

Así mismo, aseveran que la exposición a los contaminantes derivados de la combustión de combustibles sólidos (leña, carbón, etc.) en fuegos abiertos y cocinas tradicionales aumenta el riesgo de infección aguda en las vías respiratorias y la mortalidad en niños pequeños. La polución atmosférica en espacios interiores procedente de combustibles sólidos, constituye también un importante factor de riesgo de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (enfermedad progresiva que causa dificultad para respirar) y cáncer de pulmón entre los adultos. También, la exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón.

Velázquez F. (2012) plantea que el ozono troposférico reduce la fotosíntesis neta y puede aumentar el envejecimiento prematuro, derivando en una disminución del rendimiento en los cultivos. También afirma que, pérdidas significativas en la productividad agrícola y forestal en las áreas rurales de todo el mundo, se vincula a la acción de este contaminante.

El ozono entra a las hojas a través de los estomas, alterando, entre otras cosas, la permeabilidad de la membrana plasmática, detectándose afectaciones en las zonas donde están los lípidos.

Así mismo, el ozono troposférico afecta a los seres humanos provocando irritación de los ojos, fosas nasales y garganta. Además, sobrecalienta las células, en especial las del sistema respiratorio, reduciendo su tiempo de vida y puede ocasionar reacciones mutagénicas.

Ahora bien, el deterioro del ozono estratosférico deja pasar los rayos ultravioletas lo que conlleva a afectaciones en la salud de los seres vivos, tales como: cáncer en la piel, glaucoma y destruyen el sistema inmunológico.

Así también, causa la muerte del plancton y el envejecimiento prematuro de los árboles. Las infecciones en bovinos pueden agravarse con un aumento de la radiación UV-B. Es más, hace que las plantas sean más vulnerables a las enfermedades y que produzcan sustancias tóxicas, entre otras cosas.

A modo de síntesis, debemos decir que los contaminantes del aire existen en varias formas debido a las emisiones del parque automotor, de las centrales eléctricas, de las industrias y de los incendios. Las emisiones de gases han contribuido al denominado efecto invernadero intensificado. Estos gases atrapan el calor radiante haciendo que la temperatura aumente. Así mismo, estas emisiones crean ozono, que tiene efectos perjudiciales en los seres vivos.

Para concluir este capítulo, es importante destacar que, algunos problemas que son el resultado de la contaminación atmosférica, son tan grandes que pueden considerarse amenaza a la atmósfera global y, en los casos más extremos, los riesgos potenciales que ya conocemos, que ponen en peligro la vida en la Tierra. (Manahan 2007).



Enfoques de la prevención de la contaminación  
(Baird, C. 2004)

Históricamente se asumió, implícita o explícitamente, que los compuestos químicos emitidos al medio ambiente podrían ser asimilados por la naturaleza: el sistema natural los podría convertir en sustancias naturales inocuas o los compuestos químicos podrían ser diluidos en tal extensión que no implicarían ninguna amenaza para la vida. La estrategia de que "la solución para la polución es la dilución", de hecho, tiene éxito para muchos contaminantes.

Sin embargo, se hizo claro en los años 60 y 70, que muchos productos químicos sintéticos no eran asimilados a causa de su persistencia, esto es, no resultaban alterados por la acción de la luz, del agua, del aire o de los microorganismos (los cuales a menudo sirven para romper o degradar muchos contaminantes) durante largos períodos de tiempo.

Ejemplo de sustancias persistentes como el DDT, refrigerantes llamados CFCs, el gas CO<sub>2</sub> y las formas tóxicas del mercurio... Tan molestos como estas sustancias químicas de origen industrial son los subproductos tóxicos.

Estos subproductos tóxicos son sustancias producidas involuntariamente en pequeñas cantidades y liberadas al medio ambiente como consecuencia de la producción, distribución y uso de grandes cantidades de otras sustancias comerciales. Un ejemplo de subproducto tóxico es la "dioxina", la cual se forma involuntariamente en el blanqueo de la pulpa de madera, la producción de algunos pesticidas comunes y la producción de preservativos de la madera...

La estrategia inicial utilizada para tratar los subproductos tóxicos era reducir la cantidad vertida de estas sustancias al medio ambiente, a menudo capturándola y depositando una buena parte de su masa antes de que ocurriese su dispersión. Un ejemplo de este enfoque es la captura de contaminantes gaseosos en las chimeneas de las centrales de energía eléctrica; una vez capturados, son convertidos en sólidos y, después, depositados en vertederos controlados.

El control de la polución basado en la captura en lugar de la reducción de la producción de subproductos tóxicos, se denomina soluciones de final de tubería. Un inconveniente de estas estrategias, es que los contaminantes no son destruidos habitualmente en el proceso, sino simplemente transformados a especies más inocuas o depositados en diferentes medios. Por ejemplo, en el caso de los contaminantes de las centrales energéticas, los compuestos químicos, por ejemplo, se colocan en el suelo en lugar de dispersarse en el aire.

La estrategia, llamada química verde, que ahora está sustituyendo este enfoque, consiste en la reformulación de las rutas sintéticas de tal manera que los subproductos no se produzcan en primera instancia; es decir, el nuevo enfoque es "subir la tubería" hacia el punto donde se produce el contaminante.

Ejemplos de esta nueva estrategia incluyen reemplazar disolventes orgánicos por agua, como medio en el que se formen los productos deseados, o quizás la eliminación de un disolvente; la sustitución de catalizadores a base de metales pesados por sustancias benignas ambientalmente; y el diseño de productos para hacerlos reciclables o que puedan depositarse con seguridad.

Para aquellos productos que por ellos mismos son ambientalmente peligrosos al dispersarse, se debe poner en práctica el "el reciclaje en circuito cerrado".

La estrategia global es eliminar virtualmente del medio ambiente las sustancias tóxicas y persistentes..

## Sugerencias de aprendizaje

Como usted habrá comprobado, los seres humanos tenemos la tendencia a alterar nuestro entorno, contaminándolo con residuos de los materiales y sustancias que cotidianamente utilizamos en nuestras actividades. Estos residuos, por lo general son descargados en el suelo, agua y atmósfera, con las consecuencias que ya conocemos. Bien, para apropiarse de los aspectos centrales del capítulo, le sugerimos algunas actividades:

1. Los contaminantes del aire son sustancias en la atmósfera que causan efectos dañinos, pero la biosfera tiene mecanismos para eliminar, asimilar y reciclar estos contaminantes naturales. Explique cómo asimila la atmósfera la contaminación natural.
2. En 1970 se aprobó la Ley del Aire Limpio; investigue sobre que trata ésta y si se han hecho reformas posteriores a las mismas.
3. Exprese en un dibujo los episodios de contaminación atmosférica.
4. Realice el siguiente experimento para que pueda detectar si existe contaminación del aire dentro de su hogar. Narre el hecho y diga de qué depende dicho fenómeno.

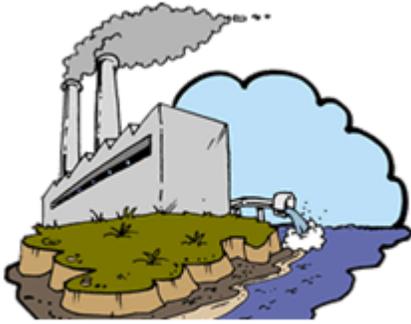
Experimento: construya un detector de la contaminación del aire de la siguiente manera:

- Corte una hoja de block en 3 partes iguales. En cada una de las secciones pegue 3 "tapas" de botellas encima del papel (hágalo con cinta adhesiva.)
- Instala los detectores en 3 lugares de su casa (donde considere que existe contaminación) durante 3 semanas.
- Después de la primera semana, retire una de las "tapas" de cada detector, dejando igual las otras dos. Transcurrida la segunda semana, sacar la segunda "tapa" y la última a la tercera semana. Para cada "tapa" "anote el lugar y el tiempo en que estuvo expuesta.
- Al finalizar el experimento retire con cuidado los detectores y póngalos en una bolsa plástica, para no alterar los resultados.
- Dibuje un plano de la casa para referenciar el experimento; use papel cuadriculado para hacerlo a escala. Exponga los resultados y conclusiones.

5. Explique los riesgos de los contaminantes del aire sobre la salud humana, animal y vegetal.

6. Investigue sobre el calentamiento global ocurrido hasta ahora su influencia en la generación de desastres y las principales medidas o alternativas de mitigación y adaptación al cambio climático.
  
7. Se afirma que los vehículos automotores emiten casi la mitad de los contami-nantes que amenazan la calidad del aire. ¿Sucede lo mismo en su municipio? Reflexione sobre esto y de su opinión sobre las alternativas que se están implementando y otras que usted pueda proponer para atenuar esta situación.





Fuente: <http://goo.gl/7fBSgH>

# Capítulo 4

## Contaminación del suelo



### 4.1 Aspectos generales

La contaminación del suelo es un problema común, pero ¿acaso estamos conscientes de esta situación? Es hora de aprender su significado, sus causas, sus consecuencias, su composición química, el comportamiento químico de los contaminantes en el suelo, particularmente el de los plaguicidas y los procesos químicos que ocurren en él. Iniciemos pues, planteándonos las siguientes interrogantes:

¿Cómo se produce la contaminación del suelo?

¿Cuáles son los contaminantes que pueden amenazar la estabilidad del suelo? ¿Cuáles son los riesgos de la contaminación del suelo?

Como sabemos, la contaminación del suelo ocurre por la deposición de sustancias químicas de tipo industrial o domésticas u otra alteración al ambiente natural de éste.

Dichas sustancias provienen de afluentes líquidos o de los residuos sólidos o por contaminación atmosférica, debido al material particulado que luego cae sobre el suelo. Las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo.



Fig. 51. Contaminación en un medio urbano e industrializado.  
Fuente: <http://goo.gl/ZiRQXV>

Domenéch (1997), plantea que el suelo ha sido desde siempre el vertedero por excelencia de una buena parte de los residuos originados por el ser humano, dada su fácil accesibilidad.

También, el suelo es el receptáculo de los desechos no deseables de origen geológico, por ejemplo, de las aguas ácidas con metales pesados provenientes de mineralizaciones sulfuradas aflorantes; las que se constituyen en una amenaza de tipo natural que pone en riesgo la estabilidad del ecosistema.



**Fig. 52: Vertedero municipal de Estelí.**

También, el suelo es el receptáculo de los desechos no deseables de origen geológico, por ejemplo, de las aguas ácidas con metales pesados provenientes de mineralizaciones sulfuradas aflorantes; las que se constituyen en una amenaza de tipo natural que pone en riesgo la estabilidad del ecosistema.

Por otra parte, todo lo que no es de utilidad en los procesos industriales, mineros, urbanos, agrícolas, etc., se acumula en el suelo, en general sin las precauciones necesarias y llegan a éste en concentraciones excesivas. Actualmente, el volumen de desechos sólidos ha aumentado de manera crítica, por el desmedido consumo de productos que vienen en los llamados envases no retornables, que proliferan día a día.

Así mismo, cada vez surgen mayores necesidades para alimentar a una población creciente a nivel mundial, lo que ha obligado a aumentar el rendimiento de los cultivos, sobre dos bases principales: el abonado, y el control de plagas, pudiendo ser tóxicos para las plantas, por ejemplo, la aplicación de fungicidas de cobre que da lugar a su persistencia en el suelo y a problemas ecológicos.

En definitiva, las actividades industriales y mineras, por un lado, y las agrícolas por otro, han dado origen al problema de que muchos productos de origen humano han ido a parar a los suelos, generando a su vez otros problemas: la contaminación de aguas subterráneas, la bajada de productividad agrícola, la contaminación de cultivos, y el envenenamiento de ganado, afectando de forma directa, y en mayor o menor grado en cada caso, a la economía y a la salud humana.

Si bien es cierto, que el suelo degrada rápidamente la mayoría de los desechos y devuelve los componentes a sus ciclos naturales, pues tiene un área superficial y una actividad catalítica enorme; además de un suministro de agua y oxígeno con los cuales puede desactivar a los contaminantes.

No obstante, se han generado enormes cantidades de residuos que los sistemas naturales son incapaces de asimilar. Todo ello hace que el suelo esté sometido a unas tensiones ambientales de difícil superación (Domenéch, 1997).

Como podemos ver, para que todos estos residuos puedan ser procesados por las redes tróficas sin agotar sus posibilidades de depuración, deben ser limitados y estar compuestos únicamente por sustancias biodegradables, ausentes totalmente de toxicidad. Todo ello nos conduce a la necesidad de hacer gestión integral de riesgo, para una adecuada intervención en lo que respecta a los factores que amenazan la estabilidad del suelo y de esa manera reducir la vulnerabilidad de éste y de la población.



## **4.2 Química del suelo**

Tal como se afirma, el suelo es un sistema complejo formado por partículas sólidas orgánicas e inorgánicas, aire, agua y microorganismos. Las mismas, gozan de gran interacción, debida a la enorme cantidad de reacciones químicas que sufren. Por ejemplo, el aire y el agua intemperizan las partículas sólidas, y los microorganismos se encargan de catalizar estas reacciones.

De modo que, la química del suelo es aquella parte de la ciencia del suelo que estudia las propiedades químicas de este valioso recurso y de sus componentes orgánicos e inorgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de estos componentes.

Domenéch (1997) plantea, que la química del suelo hace referencia a la disolución del suelo, capa fina acuosa que rodea las partículas edáficas para el desarrollo de los procesos químicos en el medio natural.

Actúa de intermediario entre la litosfera y los organismos vivos, de manera que las plantas toman el agua que contiene elementos minerales.

A su vez, éstas se descomponen alimentando de coloides orgánicos el suelo que intercambian solutos con la disolución del suelo e igualmente lo hacen los coloides inorgánicos (constituidos de arcillas), formados por procesos de meteorización del material originario.

Los coloides inorgánicos tienen gran capacidad de adsorción, son los principales almacenes de agua y de nutrientes a disposición para alimentar las plantas.

También suponen una parte del mecanismo autodepurador del suelo, puesto que estos coloides pueden inmovilizar sustancias tóxicas presentes en el suelo.

Otros minerales que se encuentran en el suelo en elevadas proporciones, son los óxidos de hierro, que le confieren la típica coloración ocre, así como también se encuentran óxidos de manganeso, titanio, aluminio, zinc, etc.

Los carbonatos, principalmente el carbonato cálcico, son una importante reserva de carbono y también son abundantes en el suelo.

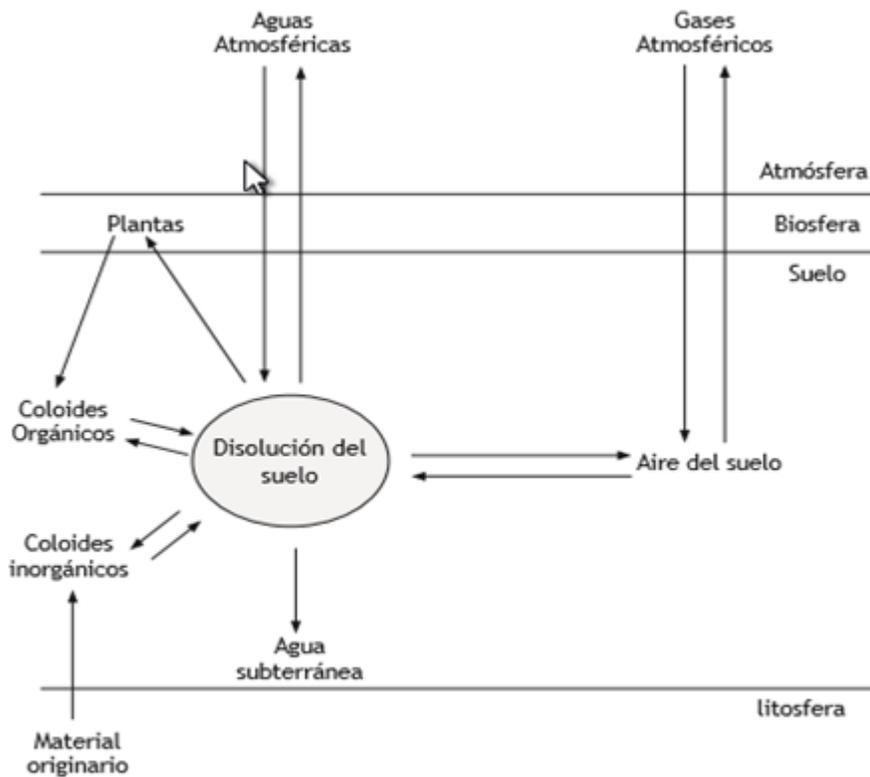


Fig. 53. Procesos químicos del suelo. Fuente: Domenéch, 1997.

Por otra parte, la disolución del suelo tiene una interrelación con la atmósfera, a través de la lluvia (adquiriendo agua con una cierta concentración de solutos) y la evaporación que transfiere solo agua al medio atmosférico.

También tiene una relación indirecta con los gases atmosféricos, estableciéndose un intercambio de gases entre la atmósfera y el aire del suelo (fracción gaseosa edáfica). A su vez, existe un equilibrio entre el aire del suelo y la disolución del suelo, mediante el cual se transfieren solutos.

Finalmente, dependiendo del balance evaporación lluvia, puede tener lugar la infiltración de agua edáfica hacia horizontes más profundos, en el que ésta va interaccionando con el medio edáfico intercambiando elementos (lixiviación), alimentándose así los acuíferos subterráneos (Domenéch, 1997).

### ➔ 4.3 Constituyentes inorgánicos y orgánicos en el suelo

Iniciaremos este apartado recordando que los constituyentes orgánicos en el suelo son el complejo conjunto de sustancias constituidas por restos vegetales y organismos que están sometidos a un constante proceso de transformación y síntesis.

Mientras que los constituyentes inorgánicos del suelo lo constituyen el conjunto de minerales. Normalmente la fracción mineral se presenta en cantidades superiores a los constituyentes orgánicos; sin embargo, su función es importante para la evolución y propiedades de los suelos.

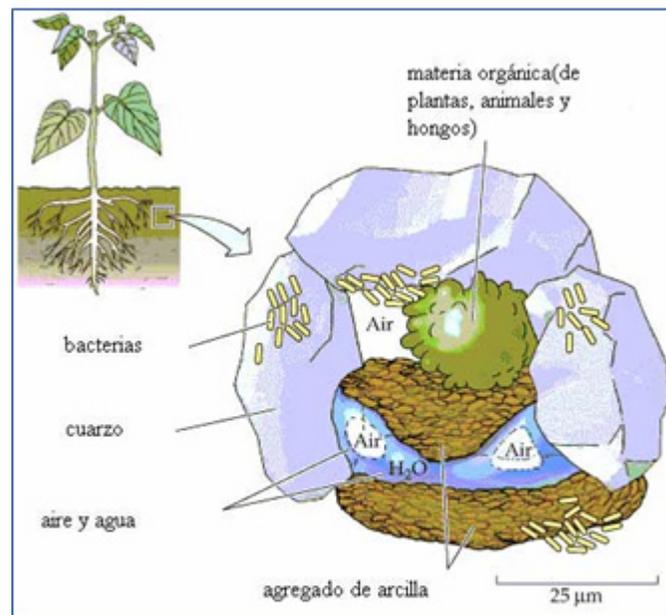


Fig.54. Componentes del suelo.

Fuente: <http://goo.gl/90Dm1s>

Como recordará, la fase sólida del suelo consta aproximadamente, de un 50% de la composición total del mismo y determina en gran medida los procesos químicos que en él tienen lugar. La materia orgánica, presente en un 5% en el suelo, tiene un papel central en muchos procesos fisicoquímicos y, en concreto, en la absorción y en reacciones de intercambio iónico. La fracción inorgánica del suelo (arena, limo y arcilla). Esta fracción constituye el 45% de la composición edáfica. La mezcla de estas fracciones y la cantidad relativa de cada una de ellas determinan la textura del suelo.

A su vez, la textura de un suelo da una idea de su porosidad, que es una medida del volumen de poros o espacios por volumen de suelo. Normalmente, del 40 al 60% del volumen del suelo son poros, por los cuales puede circular el aire y el medio acuoso edáfico. En consecuencia, un suelo poroso puede contener una mayor proporción de agua y aire que otro suelo no tan poroso.

Por otra parte, el tamaño medio de los poros de un suelo determina su permeabilidad, es decir, la velocidad con que el fluido acuoso y el aire se mueven de las capas altas del suelo a las más profundas. Otro parámetro que define la textura de un suelo es su estructura, que da una indicación de cómo se unen las partículas del suelo entre sí. Estos parámetros que se han mencionado, en su conjunto, definen la capacidad de un suelo en retener agua, en airearse y en poder ser cultivado.

En la tabla 4, se indican algunas propiedades de las distintas fracciones del suelo. (Domenéch, 1997).

Tabla 8. Propiedades de las distintas fracciones del suelo.  
 Notación: x = bajo; xx = normal; xxx: bueno.

Fracción	a	b	c	d	e
Arcilla	***	*	***	*	*
Limo	**	**	**	**	**
Arena	*	***	*	***	***

a = retención de nutrientes    b = infiltración del agua    c = retención del agua  
 d = aireación    e = capacidad de ser cultivado

Es importante destacar, que las partículas de arcilla, intercambian iones de la disolución del suelo, que es lo que hace que tenga un buen poder de retención de nutrientes. No obstante, se compactan muy fácilmente, con lo que su capacidad de retención de agua es buena, pero su capacidad de infiltración es baja. Es por esta razón que los suelos arcillosos suelen estar inundados.

Referente a los suelos arenosos, debemos decir, que son fácilmente cultivables, tienen poca capacidad de retención de agua y de nutrientes, debido al gran tamaño de poros que los caracteriza.

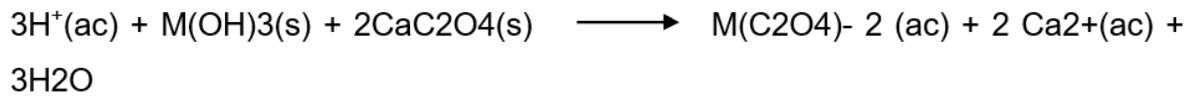
Mientras el suelo franco, es un suelo formado por una mezcla determinada de arcilla, arena y limo, que presenta unas propiedades óptimas para el cultivo. En concreto, la proporción de cada una de las fracciones inorgánicas que caracteriza un suelo franco gira entorno de un 40% de arena, un 40% limo y un 20% arcilla.

Referente a la composición química, la fracción inorgánica del suelo se compone de minerales primarios y secundarios. Los minerales primarios son aquellos que han sido formados a elevadas temperaturas y derivados, de forma inalterada, de rocas ígneas y metamórficas. Son minerales primarios, el cuarzo, los feldespatos, micas, piroxenos, anfíboles, entre, otros.

Ahora bien, a pesar de la variabilidad en la composición química de la fracción inorgánica del suelo, se puede considerar que existen dos componentes mayoritarios en todo tipo de suelos: los óxidos, y, sobre todo, los silicatos.

La materia orgánica del suelo (MOS), juega un papel muy importante en determinar la fertilidad de éste. Así, la materia orgánica sirve como fuente de alimentos para microorganismos, participa en diversos procesos químicos edáficos y afecta a las propiedades físicas del suelo.

Algunos compuestos orgánicos, incluso participan en la meteorización de la materia mineral. Por ejemplo, el ión oxalato ( $C_2O_4^{2-}$ ) es un metabolito de ciertos hongos, y forma en el suelo el oxalato insoluble  $CaC_2O_4$ . No obstante, participa en algunas reacciones químicas de meteorización, movilizándolo elementos metálicos y favoreciendo su accesibilidad, como nutrientes, a los organismos vivos. Así, en medio acuoso tiene lugar la siguiente reacción:



Donde M puede ser Este ácido es un metabolito de determinados hongos, capaz de reaccionar con silicatos y liberar iones  $\text{K}^+$ , así como otros iones metálicos.

La mayor contribución de la MOS son los residuos vegetales. Más del 60% procede de las raíces, que proveen al suelo de aminoácidos, ácidos orgánicos, hidratos de carbono, etc., así como de material insoluble. Ya los residuos en el suelo, una tercera parte sufre descomposición a lo largo de un año, siendo el último producto de la degradación el  $\text{CO}_2$ .

En general, los residuos vegetales están constituidos por un 50% de celulosa, un 20% de hemicelulosa, un 18% de lignina, un 6% de proteínas, un 5% de aminoácidos y azúcares y el resto corresponde a pectina, ceras, pigmentos, etc.

La celulosa, al igual que otras macromoléculas que entran en el suelo, sufre una despolimerización inicial catalizada por enzimas extracelulares que se encuentran, bien en la disolución del suelo o bien adsorbidas sobre la superficie de partículas edáficas. De esta despolimerización, se obtienen fragmentos más pequeños, principalmente glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ).

La glucosa, o los fragmentos de descomposición, pueden sufrir una descomposición aerobia, oxidándose a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

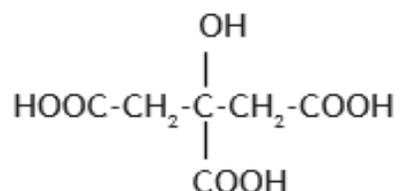


También se degradan a ácidos orgánicos, en el caso de que el medio sea anaerobio. Por ejemplo:



Estas dos reacciones son exotérmicas, de tal manera que los microorganismos utilizan la energía obtenida para sus procesos metabólicos. Otro componente de la MOS presente en cantidades importantes, son las hemicelulosas. Estas, son polímeros de hexosas, pentosas y ácidos urónicos. La pectina es, también, una hemicelulosa formada por la polimerización del ácido galacturónico parcialmente.

En este caso, el anión oxalato actúa de agente quelatante, formando un complejo soluble con el ión metálico. Otro agente quelatante, es el ácido cítrico:



Este ácido es un metabolito de determinados hongos, capaz de reaccionar con silicatos y liberar iones K+, así como otros iones metálicos.

La mayor contribución de la MOS son los residuos vegetales. Más del 60% procede de las raíces, que proveen al suelo de aminoácidos, ácidos orgánicos, hidratos de carbono, etc., así como de material insoluble. Ya los residuos en el suelo, una tercera parte sufre descomposición a lo largo de un año, siendo el último producto de la degradación el CO<sub>2</sub>.

En general, los residuos vegetales están constituidos por un 50% de celulosa, un 20% de hemicelulosa, un 18% de lignina, un 6% de proteínas, un 5% de aminoácidos y azúcares y el resto corresponde a pectina, ceras, pigmentos, etc.

La celulosa, al igual que otras macromoléculas que entran en el suelo, sufre una despolimerización inicial catalizada por enzimas extracelulares que se encuentran, bien en la disolución del suelo o bien adsorbidas sobre la superficie de partículas edáficas. De esta despolimerización, se obtienen fragmentos más pequeños, principalmente glucosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).

La glucosa, o los fragmentos de descomposición, pueden sufrir una descomposición aerobia, oxidándose a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

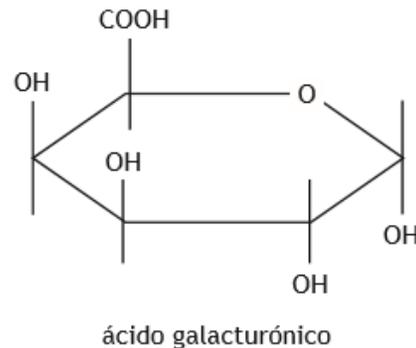


También se degradan a ácidos orgánicos, en el caso de que el medio sea anaerobio. Por ejemplo:



Estas dos reacciones son exotérmicas, de tal manera que los microorganismos utilizan la energía obtenida para sus procesos metabólicos.

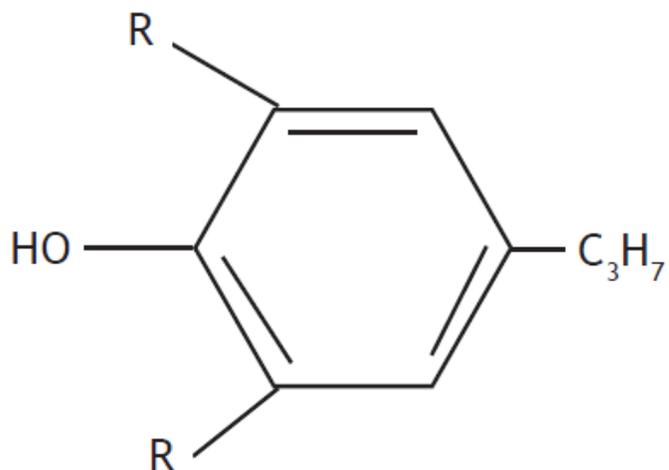
Otro componente de la MOS presente en cantidades importantes, son las hemicelulosas. Estas, son polímeros de hexosas, pentosas y ácidos urónicos.



La pectina es, también, una hemicelulosa formada por la polimerización del ácido galacturónico parcialmente y, finalmente, este ácido se oxida a dióxido de carbono gracias al concurso del enzima galacturónico-oxidasa:



La lignina, otro componente habitual de la MOS, es un polímero no uniforme, cuya unidad fundamental es un núcleo de fenil propano:



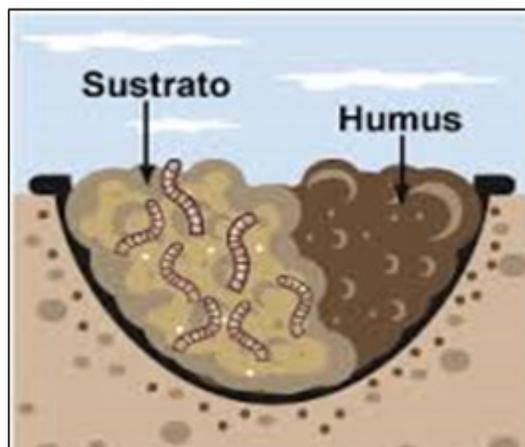
La lignina es el componente de los residuos vegetales más resistentes a la degradación. Tiene una estructura bastante desordenada, con uniones cruzadas entre distintos fragmentos moleculares, a través de enlaces. C-O-C ó C-C. Es precisamente esta estructura lo que hace que la lignina sea bastante resistente a la degradación. No obstante, con el tiempo la lignina sufre una despolimerización para dar las unidades aromáticas y, finalmente, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Como se ha mencionado, la degradación de los residuos vegetales tiene lugar por participación de microorganismos, especializados y no especializados, presentes en el suelo. La velocidad de degradación depende de un buen número de parámetros. Se puede decir que, además del aporte de residuos frescos, este proceso depende, fundamentalmente, del contenido de agua del suelo, del pH, de la temperatura y de la aireación (Domenéch, 1997).

## La fracción húmica

La fracción húmica del suelo, humus, corresponde a aquel conjunto de sustancias poliméricas de coloración amarilla a marrón-negruzca, cuyas moléculas tienen pesos moleculares altos y que son resistentes a la descomposición. Una buena parte de la fracción húmica es insoluble, siendo esta la razón por la que se acumula en los horizontes más superficiales del suelo.

En realidad, el humus es un producto resultante de la transformación de los residuos vegetales a través de un proceso denominado humificación. Mediante esta transformación, se produce un enriquecimiento de la relación nitrógeno/carbono como consecuencia del proceso degradativo microbiano, en el cual parte del carbono es transformado a  $\text{CO}_2$ .



La lignina es el principal precursor del humus; el proceso implica la rotura de los polímeros, hidrólisis de los grupos metoxi y, posteriormente, la desmetilación de los monómeros polifenólicos obtenidos. Los polifenoles se oxidan a quinonas, las cuales se condensan con productos procedentes de las células de microorganismos, formando compuestos húmicos.

Otra posible vía proviene de la condensación directa de productos de descomposición de residuos vegetales, sin la intervención de derivados de la lignina (Domenéch, 1997).

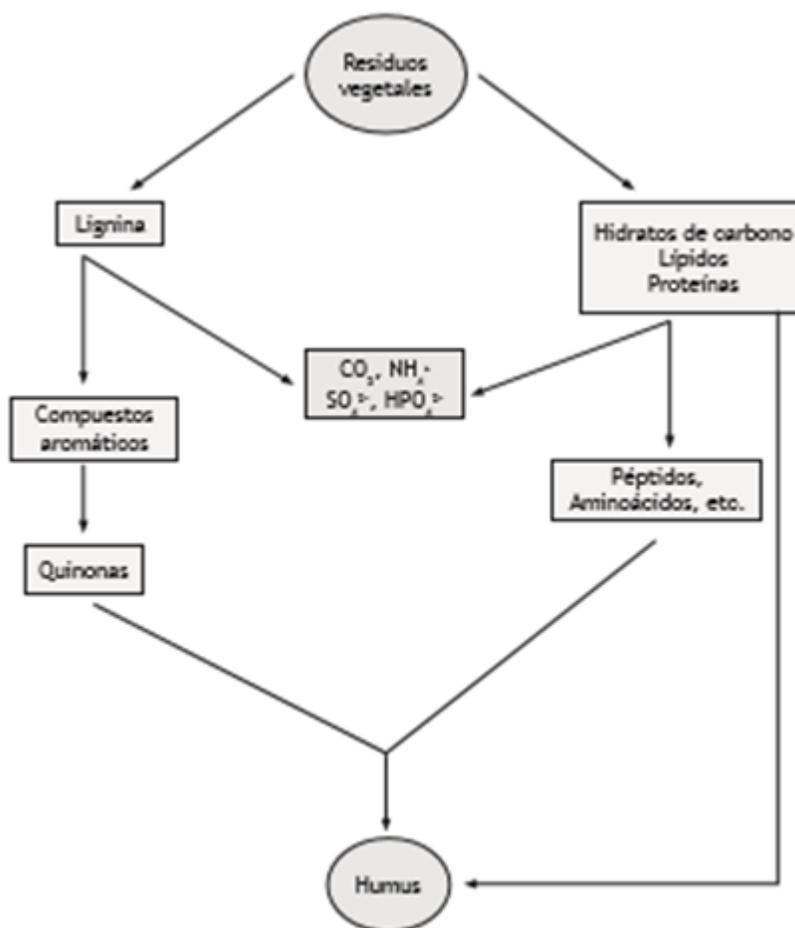


Fig.56: Proceso de humificación de residuos vegetales. Fuente: Domenéch, 1997

Las sustancias húmicas influyen en las propiedades del suelo en un grado muy superior de lo que indica su pequeño porcentaje en el éste. Retienen fuertemente a los metales y sirven para mantener los iones metálicos en el suelo. Debido a su carácter ácido base estas sustancias sirven como agentes amortiguadores de pH en el suelo.

La capacidad de retener agua del suelo aumenta significativamente en presencia de estas sustancias.

También estabilizan los agregados de partículas del suelo y aumentan la absorción de compuestos orgánicos por el suelo. Asimismo, absorben fuertemente muchos solutos en el agua del suelo y tienen afinidad particular por los cationes polivalentes pesados; pueden contener niveles de uranio diez a la cuatro veces mayores que los que contiene el agua con los que están en equilibrio. Así, el agua llega a agotarse de sus cationes (se purifica), al atravesar los suelos ricos en sustancias húmicas. (Manahan, 2007).

En suma, el humus es vital para el crecimiento de las plantas, pues les aporta diferentes beneficios, tales como:

- Su colaboración en el proceso de creación de potasio, fósforo y nitrógeno. Tres elementos vitales para el desarrollo de los cultivos.
- Mejora y acelera el crecimiento de las plantas.
- Ayuda amplia mente en el sistema de retención y drenaje del agua de los suelos, permitiendo que las plantaciones cuenten con la justa cantidad de agua que necesitan para el desarrollo.

- Mejora la resistencia de las plantas a enfermedades y factores externos como, plagas o climas extremos, gracias a la cantidad de nutrientes que aporta.
- Su material orgánico sirve para la alimentación de otros microorganismos.
- Produce dióxido de carbono que favorece la solubilidad de los minerales.



#### **4.4 Procesos químicos del medio edáfico**

De acuerdo con Domenéch (1997), los procesos químicos que ocurren en el medio edáfico, son los procesos de adsorción e intercambio iónico, ácido-base y salinización.

##### **Procesos de adsorción e intercambio iónico**

Iniciaremos este apartado destacando que una de las propiedades químicas más importantes de un suelo, es su capacidad de intercambio iónico (CIC), que corresponde al número de mili equivalentes (MEQ) de cationes monovalentes, que puede ser intercambiado por 100g de suelo (con base en el peso seco).

Tanto las partículas minerales como las orgánicas de los suelos intercambian cationes.

Las partículas minerales de arcilla, también intercambian cationes debido a la presencia de sitios cargados negativamente en el mineral, como resultado de la sustitución de átomo de menor número de oxidación por otro de número mayor, por ejemplo, magnesio por aluminio. Los compuestos orgánicos intercambian cationes debido a la presencia del grupo carboxilato y otros grupos funcionales básicos. El humus tiene una capacidad de intercambio de cationes muy alta. El intercambio de cationes en el suelo, es el mecanismo por el cual el potasio, el calcio, el magnesio y los metales esenciales, a nivel de trazas se hacen disponibles a las plantas (Manahan,2007).

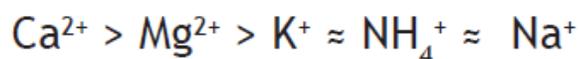
Así, el suelo, gracias a su capacidad de intercambio, libera un ión metálico (M<sup>+</sup>) y adquiere iones hidrógeno H<sup>+</sup>:



El CO<sub>2</sub> presente en el medio acuoso en el que transcurre el intercambio de iones, se transforma en ión bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) debido al aumento de pH del medio. Finalmente, el ión metálico queda libre para desplazarse en el medio acuoso en el que se encuentra, hasta llegar a la raíz.

Es importante subrayar que, la carga negativa predominante de los coloides del suelo, produce la retención de cationes y reduce su pérdida por lixiviación. Los iones que permanecen adsorbidos en las partículas coloidales, pueden intercambiarse por otros iones de la disolución del suelo.

Es por ello que se denominan cationes intercambiables y al proceso de reemplazo de un catión por otro, intercambio catiónico. Por lo general, en suelos productivos el orden de iones intercambiables según la abundancia es el siguiente:

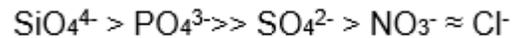


En suelos ácidos ( $\text{pH} < 5,5$ ), se encuentra también como catión intercambiable el  $\text{Al}_{3+}$  y en los aún más ácidos ( $\text{pH} < 4$ ) está el  $\text{H}^+$ . La suma de todos estos cationes equivale a la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC). **En realidad, el CIC se define como la capacidad de un suelo para adsorber e intercambiar cationes.** El intercambio catiónico es de mucha importancia para mantener el equilibrio natural, puesto que regula el consumo de nutrientes por parte de las plantas. Ello tiene lugar por intercambio con iones  $\text{H}^+$  generados durante la respiración de las plantas.

Por otra parte, los fertilizantes que se añaden al suelo quedan retenidos por las partículas coloidales, impidiendo que sean lixiviados. Además, como ya se ha comentado con anterioridad, el intercambio catiónico forma parte del mecanismo autodepurador del suelo al retener iones metales tóxicos, impidiendo su movilización.

Al igual que en el caso de los cationes, también se puede definir una capacidad de intercambio aniónico (CIA) que, debido a las características del suelo, siempre tiene un valor inferior al CIC y depende mucho del pH del medio.

También estos iones intercambiables siguen el orden de mayor a menor afinidad.



En la disolución del suelo existen aniones que utilizan las plantas y los microorganismos como nutrientes, como por ejemplo  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  y  $\text{MoO}_4^{2-}$ , así como también pueden estar presentes aniones tóxicos como  $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$  o bien aniones orgánicos, como por ejemplo los aniones de los ácidos clorofenoxiacéticos, utilizados extensamente como herbicidas. Por tanto, los fenómenos de retención aniónica podrán ser determinantes para establecer el comportamiento de estas especies en el medio edáfico. (Domenéch, 1997).

### **Procesos de acidificación del suelo**

El suelo sufre cambios en su pH, mientras se van desarrollando los procesos de meteorización. En primer lugar, se produce un cierto aumento del pH, para acidificarse después y tender hacia la neutralidad.

La acidificación del suelo es el proceso por el cual éste absorbe cationes de hidrógeno, reduciendo su pH, es decir, aumenta la concentración de protones debido, por ejemplo, a un donante como el ácido nítrico o sulfúrico. Aunque, hay suelos naturalmente ácidos (bosques de coníferas) y seres vivos capaces de sobrevivir en tales condiciones, un suelo con un pH bajo va a tener problemas de desarrollo, dado que el crecimiento de plantas y microorganismos va a estar inhibido.

Domenéch, 1997, subraya que, el pH del suelo depende de las entradas de cationes básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ , principalmente), que pueden provenir de la atmósfera, de la meteorización química, de los residuos vegetales, de los fertilizantes aplicados, del agua tanto de percolación como de ascensión capilar, o de aportaciones antropogénicas. No obstante, no sólo hay entradas, sino que existen procesos de consumo de estos iones: drenaje del suelo, asimilación por parte de las plantas, de los cultivos y de los animales.

Los suelos de regiones que soportan extensas lluvias, son susceptibles de acidificarse, puesto que se produce una elevada lixiviación que elimina los cationes básicos de los horizontes del suelo. Por el contrario, en suelos áridos la lixiviación es muy baja y, además, existe una elevada evaporación que provoca la ascensión de la disolución del suelo, la cual deja tras de sí depósitos salinos que se van acumulando en las capas superficiales. Ello da lugar a la salinización del suelo y a incrementos en el pH.

Por otro lado, estacionalmente se produce una acidificación temporal cuando en la época de crecimiento de los cultivos la vegetación asimila grandes cantidades de cationes básicos. No obstante, estos cationes son devueltos al suelo a través de la descomposición de la materia orgánica residual.

A parte de estas variaciones estacionales, se puede decir que el pH óptimo para la mayoría de los cultivos está comprendido entre 6 y 7,5.

Los suelos cenagosos se pueden encontrar pH's muy ácidos (entre 1 y 3), mientras que en suelos forestales húmedos el pH oscila entre 4 y 5,5. Por el contrario en suelos de pradera semiáridos, el pH varía entre 6,5 y 8, en los suelos calcáreos la variación es entre 7, 5 y 8,5 y en los suelos al-calinos entre 8 y 10.

Las causas principales de acidificación de un suelo son:

- Precipitaciones ácidas, tanto húmedas (lluvia ácida) como secas.
- Adiciones de materia orgánica a partir de residuos vegetales (caso de las coníferas).
- Utilización de fertilizantes amoniacales y a base de fosfatos,
- Oxidación de la piritita en suelos piríticos o en los alrededores de minas de piritita:



- Disolución del  $\text{CO}_2$ . Este gas, al disolverse en la disolución del suelo, produce  $\text{H}^+$  que acidifican el suelo:



Asimilación de nutrientes por las plantas. Las plantas, para su crecimiento, absorben cationes básicos, los cuales son intercambiados por iones  $H^+$ , produciendo la disminución del pH del suelo. Es necesario enfatizar la importancia de crear conciencia sobre la grave amenaza que representa la contaminación de los suelos por acidificación, ya que ello puede ocasionar la muerte del suelo y de toda la vida que se desarrolla a su alrededor.

### **Salinización**

La salinización es el proceso consistente en la acumulación de sales solubles en los suelos. Cuando sucede este fenómeno, las sales que se suelen acumular son  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaCO_3$  y  $MgCO_3$ .

Actualmente, estos suelos se denominan aridisols, puesto que se desarrollan comúnmente en suelos áridos. En efecto, las aguas subterráneas de las regiones áridas contienen, por lo general, elevadas concentraciones de sales solubles.



Fig. 57 Afloramiento de sal causado por la poca profundidad del agua subterránea.

Fuente: <http://goo.gl/9LzjN3>

En este caso, si el nivel de las capas freáticas es alto y, favorecido por la alta evapotranspiración, se establece un movimiento ascendente de agua salina que, al llegar a la superficie se evapora dejando tras de sí las sales que se acumulan en los horizontes superficiales del suelo.

Una consecuencia de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad, lo que afecta negativamente o dificulta el desarrollo de cultivos agrícolas. En sistemas de riego modernos se previene la salinización dimensionando adecuadamente las estructuras y estableciendo buenas prácticas de riego. Entre las causas de la sa-linización de un suelo se destacan las siguientes:

- La aridez del terreno
- La meteorización química. De hecho, el origen de todas las sales existentes en el suelo corresponde a procesos de meteorización. En este sentido, el CO<sub>2</sub> edáfico es un factor muy influyente para la obtención de sales. Por ejemplo, la albita reacciona con el CO<sub>2</sub> en disolución para liberar bicarbonatos:



- La existencia de sales fósiles o la presencia de aguas superficiales en un terreno mal drenado, que da lugar a su retención y, al evaporarse, a la acumulación de las sales. También deben considerarse las actividades humanas, como el uso de aguas de riego con excesivo contenido en sales, uso de fertilizantes, los vertidos procedentes de minas de sal, etc...; las cuales pueden originar problemas graves de forma puntual.
- La precipitación atmosférica. Las gotas de agua en la nube contienen una cierta cantidad de sales. Además, al precipitar, las gotas líquidas van absorbiendo especies atmosféricas, con lo cual se van enriqueciendo de especies solubles

Los problemas que ocasionan un exceso de sales en un suelo son diversos. En primer lugar, existen problemas químicos como la reducción de la disponibilidad de hierro, fósforos y potasio y de la mayoría de los micronutrientes, debido a que forman fases sólidas insolubles. También se originan problemas de tipo físico, como la formación de costras, las cuales bloquean los poros y por consiguiente disminuyen la permeabilidad del suelo.

Finalmente, debemos señalar que en suelos salinos la planta requiere una mayor energía, para absorber el agua del suelo a través de las raíces. La mayor concentración de sales en la disolución del suelo, en relación a la concentración que se encuentra en el interior de las células vegetales, da lugar a una presión osmótica negativa que la planta debe vencer.

Si la salinización es excesiva, se produce un estrés hídrico muy perjudicial para el desarrollo de la planta.



#### **4.4 Contaminantes metálicos**

Así mismo, se destaca la presencia de iones de metales pesados en el suelo; muchos de éstos ya están presentes en el suelo, comportándose como micronutrientes. Así, por ejemplo, en la disolución del suelo se encuentran metales pesados en concentraciones que oscilan entre 0.1 y 0.001 mg l<sup>-1</sup>. Relacionados en orden a su abundancia en la disolución del suelo, estos metales son: As, Mn, Cu, Ni, Co, Zn, Se, Be, Cd, Cr, Pb y Hg.

No obstante, a pesar de los beneficios que aportan estas especies, si superan determinados niveles, pueden ocasionar serios problemas ambientales. De hecho, esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico, procedentes de vertidos industriales, de actividades mineras, de la aplicación de pesticidas o también del tráfico rodado, gracias a lo cual se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan lejos del lugar donde han sido vertidas.

Cabe resaltar que, la actividad minera contamina los suelos, a través de las aguas de relave. De este modo, llegan hasta ellos ciertos elementos químicos como mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu), arsénico (As), plomo (Pb), etc. Por ejemplo: el mercurio que se origina en las industrias de cemento, industria del papel, plantas de cloro y soda, etc.

Algunos de sus efectos tóxicos son: alteración en el sistema nervioso y renal. En los niños, provoca disminución del coeficiente intelectual; en los adultos, altera su carácter, poniéndolos más agresivos. Otro caso es el arsénico que se origina en la industria minera. Este mineral produce efectos tóxicos a nivel de la piel, pulmones, corazón y sistema nervioso.

De entre los iones metálicos más tóxicos cabe señalar el cadmio y el mercurio. El primero, debido a su extrema toxicidad, cualquier vertido en el suelo da lugar a situaciones muy problemáticas. El mercurio en el suelo se encuentra, en principio, precipitado como hidróxido ( $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ). No obstante, en medios no muy oxidantes el Hg (II) puede reducirse, primero a ión mercurioso y luego a mercurio metálico, el cual es muy volátil y puede difundirse por los poros del suelo.

Otra posibilidad que da lugar a la movilización del mercurio es a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto organometálico (compuesto con un enlace carbono-metal).

En el caso concreto del mercurio, se forma el metilmercurio,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , el cual, al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble. En consecuencia, estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar con facilidad las membranas biológicas y, en particular, la piel, y a partir de aquí, la incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada. A parte del mercurio, otros metales susceptibles a la metilación son Pb, As y Cr.

## 4.5 Contaminantes orgánicos

Otro tipo de contaminación exógena es la que se produce por vertidos de compuestos orgánicos, como por ejemplo el vertido accidental de hidrocarburos o su fuga de tanques subterráneos. Otro caso importante de contaminación por productos orgánicos es el correspondiente a la presencia en el suelo de pesticidas.

Es importante señalar, que una situación problemática bastante generalizada, es la que se deriva de la aplicación abusiva de fertilizantes en el suelo con el fin de aumentar el rendimiento de las cosechas. Los fertilizantes contienen nitrógeno, fósforo o potasio, bien por separado o en productos formados por mezclas de dichos elementos.

Manahan (2007), afirma que el uso incrementado de fertilizantes, provoca contaminación de agua por escorrentía de suelos agrícolas enriquecidos en nitrógeno, fósforo y potasio de los fertilizantes. En una escala local, lagos y estanques han llegado a estar eutrofizados como resultado de la escorrentía de fertilizantes. Los nutrientes en el fertilizante causan el crecimiento excesivo de algas, la biomasa de éstas se descompone y consume  $O_2$ ; dañándose los sistemas acuáticos por agotamiento de  $O_2$ . Debido a que es una fuente no puntual de contaminación, la escorrentía de fertilizantes presenta graves problemas de control.

Se están haciendo esfuerzos por sensibilizar a los agricultores para que usen fertilizantes amigables con el medio ambiente o para que disminuyan la utilización y la frecuencia de fertilizantes químicos sintéticos en sus prácticas agrícolas. Esto implica que los agricultores vayan minimizando el uso de estos productos al estar conscientes de los riesgos de estas sustancias nocivas, y con ello ir reduciendo las zonas muertas del suelo.

### **Comportamiento químico de los plaguicidas en el suelo**

Como usted sabrá, una de las grandes amenazas en agricultura, son las plagas, y en el intento por controlarlas se han utilizado distintos productos químicos, los plaguicidas. Los mismos representan el principal contaminante en este ámbito, ya que no sólo afecta a los suelos, pues además de afectar a la plaga, incide sobre otras especies y contamina el agua subterránea. Esto se traduce en un desequilibrio, y en contaminación de los alimentos y de los animales.



Fig. 58: Contaminación del suelo por plaguicida. Fuente: <http://goo.gl/xNq5kN>

Los herbicidas son los productos químicos más comunes que influyen en el suelo y en los organismos que estos mantienen, porque para ser eficaces, estos compuestos deben entrar, generalmente, en contacto directo con el suelo y persistir durante un tiempo suficiente. De modo que, la presencia de contaminantes en un suelo supone la existencia de potenciales efectos nocivos para las personas, la fauna en general y la vegetación. Estos efectos tóxicos dependerán de las características toxicológicas de cada contaminante y de la concentración del mismo.

Indirectamente, a través de la cadena trófica, la incidencia de un suelo contaminado puede ser más relevante. Absorbidos y acumulados por la vegetación, los contaminantes del suelo pasan a la fauna en dosis muy superiores a las que podrían hacerlo por ingestión de tierra. Cuando estas sustancias son bioacumulables, el riesgo se amplifica al incrementarse las concentraciones de contaminantes a medida que ascendemos en la cadena trófica, en cuya cima se encuentra el ser humano (Inga Salvador, 2010).

Como bien sabe, la elevada toxicidad de la mayoría de los plaguicidas y de algunos de sus metabolitos puede tener graves efectos sobre los seres vivos. Es importante, entonces, que los seres humanos apliquemos como una regla básica, reducir o eliminar el uso de estos contaminantes que ponen en riesgo nuestra vida y la del ambiente en general.

También, existen los denominados bioplaguicidas que proceden de fuentes naturales como plantas o bacterias, éstos son amigables con el medio ambiente.

Sin embargo, según Manahan (2007), no debemos suponer que cualquier cosa procedente de una fuente natural es más segura que los compuestos sintéticos, por ejemplo, sustancias como el botulinum de las bacterias *Clostridium botulinus* o el ricino de las semillas de ricino están entre las sustancias más tóxicas conocidas.

Los bioplaguicidas es que tienen una toxicidad, generalmente, más baja que los plaguicidas convencionales, alta especificidad para las plagas de interés, efectividad en cantidades muy pequeñas y rápida descomposición.

Así también, cabe mencionar aquí, que la mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración. No obstante, esta capacidad de depuración tiene un límite diferente para cada situación y para cada suelo. Cuando se alcanza ese límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una "fuente" de sustancias peligrosas para los organismos que viven en él o de otros medios relacionados.

En síntesis, el grado de vulnerabilidad (o debilidad) del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes, depende de la intensidad de afectación del tiempo que debe transcurrir, para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas y químicas de un suelo. También, de la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos, en respuesta al impacto de los contaminantes.



CANAL LOVE: caso real  
(Sabroso, M. y Pastor, A., 2004)

El canal Love es una de las tragedias ambientales más espantosas de la historia americana. Fue construido por Guillermo T. Love en los años 1800 en el estado de Nueva York (EEUU), junto a las cataratas del Niágara, en una tentativa de conectar el río superior y más bajo del Niágara. En 1920 el canal Love, se convirtió en un vertedero municipal e industrial. Hasta 1953 se usó como vertedero llagándose a depositar 21 000 toneladas de productos químicos muy tóxicos: disolventes orgánicos, ácidos, metales, pesticidas y subproductos, muchos de ellos carcinógenos o teratogénicos (creando defectos del nacimiento).

En 1953, la Hooker Chemical Company, entonces los dueños, cubrieron el canal con tierra y lo vendieron a la ciudad por un dólar. Se cubrió con arcilla para actuar como un sello, una barrera. La compañía química advirtió de los peligros, pero se pensó que, recubriendo, como hicieron, todo el vertedero con capas de arcilla y tierra quedaría suficientemente sellado. La ciudad de Niágara Falls construyó cerca de 100 hogares y una escuela en este emplazamiento. Empezaron a surgir problemas al final de los años cincuenta cuando los obreros que construían la escuela removieron la arcilla, como se comprobó más tarde.

Niños que jugaban en el patio sufrían quemaduras, algunos enfermaron y murieron. Vapores tóxicos emanaban de vez en cuando dañando a las plantas. Con las lluvias salía barro cargado de una mezcla oscura y tóxica. Los problemas continuaron durante años.

En 1978 se hicieron análisis de las aguas de la zona que mostraron la presencia de 82 productos químicos contaminantes. El Departamento de Sanidad comprobó que una de cada tres mujeres había tenido abortos espontáneos, un porcentaje muy superior al normal, y que, de 24 niños, cinco tenían malformaciones. Se estudiaron otras enfermedades en niños y se vio que su incidencia era claramente más alta que en la población general. La zona fue declarada un área catastrófica. La escuela fue cerrada y cientos de familias de la zona evacuadas. Todo el proceso supuso casi 200 millones de dólares además de los graves daños a la salud de las personas.

## Sugerencias de aprendizaje

Hemos llegado al final, y al comienzo, de este maravilloso proceso de aprendizaje. El escenario actual de nuestros recursos aire agua y suelo no son nada alentadores. Detengámonos un momento y reflexionemos, una vez más, sobre esta problemática para lograr un aprendizaje consciente, duradero y prometedor. Concluya su texto paralelo de Química Ambiental compartiéndonos las actividades que le sugerimos y que a continuación se describen.

1. Valore las amenazas derivadas de la acción humana sobre el ambiente en relación a la contaminación del suelo.
2. Redacte un breve comentario crítico acerca del caso de Canal Love.
3. Escriba un comentario sobre la siguiente afirmación "Otro efecto inducido por un suelo contaminado es la degradación del paisaje a la que se añadiría en los casos más graves el deterioro de la vegetación, el abandono de la actividad agropecuaria y la desaparición de la fauna.
4. Explique el impacto de los plaguicidas en el suelo y los riesgos potenciales derivados de su utilización.
5. Elabore un ensayo sobre la importancia de proteger el agua, el suelo y la atmósfera en la promoción de la Gestión Integral de riesgo en nuestras comunidades, región y país.

## Reflexión final

Espero que este proceso de aprendizaje, al igual que lo fue para mí, haya sido vivificante y significativo, por el interés e importancia que revisten las temáticas desarrolladas. Es así que, considero relevante el nivel de apropiación alcanzado sobre nuestra responsabilidad en el cuidado de nuestro planeta y de la necesidad urgente de un cambio de actitud que nos convierta en agentes activos del desarrollo sostenible con equidad. Todo esto, a través del desarrollo de estrategias conducentes a la protección del agua, aire y suelo; recursos que tienen un valor estratégico para nuestra supervivencia.

No debemos olvidar que, el aire que respiramos se contamina con la inmensa cantidad de compuestos que liberan a la atmósfera las industrias, con las combustiones domésticas, con el parque vehicular que utiliza combustibles fósiles, entre otros. Se ha comprobado que un automóvil emite más de mil sustancias tóxicas diferentes y que las más peligrosas son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno, el plomo y los hidrocarburos. Estos son contaminantes secundarios, pues al reaccionar con otras sustancias forman conjuntos cancerígenos, los cuales están ocasionando muchas muertes silenciosas.

Así mismo, el suelo y el agua se contaminan con el uso intensivo de agroquímicos, por los residuos producidos de la actividad humana, como son los procedentes de los desechos urbanos que son vertidos a los cuerpos de agua o abandonados en el suelo.

En el caso de los desechos que son directamente enterrados, el agua de las lluvias puede arrastrar todas estas especies químicas hacia capas profundas del suelo hasta alcanzar las aguas subterráneas, las que terminan en parte aflorando de nuevo a la superficie.

Es de suma importancia mantener estos valiosos recursos en un equilibrio, para superar factores de riesgo que provocan la degradación de los mismos. Tal como se afirma, la mayor parte del riesgo es generado y construido, así como la vulnerabilidad de la población, debido a que los mismos seres humanos somos los causantes de la destrucción de dichos recursos; pues estamos potenciando amenazas existentes a través de nuestras actividades y acciones. Es por ello que, debemos implementar un sistema de prácticas apropiadas, tanto de adaptación como de mitigación, para hacer frente a las amenazas; pues nuestra existencia depende de la protección, conservación y restauración del medio ambiente y de los recursos naturales.

Por último, debo enmarcar el rol de la Gestión Integral de Riesgos que implica el desarrollo de estrategias dirigidas a evitar o reducir el riesgo de que se produzcan desastres que provoquen daños a la población, producción e infraestructura.

*Cuidemos el aire para respirar, el  
agua para calmar nuestra sed y el suelo  
para que tengamos tierra para vivir y  
descansar en paz.*



Fuente: <http://goo.gl/y40fqJ>

## Bibliografía

- Anderg-egg, E. (1995). El Desafío Ecológico. Madrid: LUMEN.
- Arlien-Søborg y Simonsen (sf). Capítulo 7: SISTEMA NERVIOSO. En Enciclope-dia de Salud y Seguridad en el Trabajo (pp. 29). Recuperado de <http://goo.gl/rzYI8>.
- Baird, C. (2001). Química Ambiental. Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Campos I. (2000). Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica: EUNED.
- Cárdenas, B.et al (2003). Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT.
- Domenéch, X. (1997). Química Ambiental. Madrid: Miraguano, S. A.
- Gutiérrez, F y Prieto, D. (1996). Mediación Pedagógica. Guatemala: Instituto de Investigaciones y Mejoramiento Educativo, Universidad de San Carlos de Guate-mala.
- Hill, J. y Kolb, D. (1999). Química para el nuevo milenio. México: PRENTICE HALL.

- Incer, J. et al (2000). Desastres naturales de Nicaragua. Managua: HISPAMER.
- Inga, S. (2010). La contaminación del suelo. Recuperado de <http://goo.gl/tLsSx>
- Gutiérrez C. (2001). Amenazas Naturales de Nicaragua. Managua: INETER.
- López, J. et al (1996). Guía Didáctica II de Educación Ambiental. El medio ambiente y nosotros. El Salvador: MED.
- Manahan, E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. México D.F: REVERTÉ, UNAM.
- Moller R. (2006). Transporte Urbano y desarrollo sostenible en América Latina. Colombia: Universidad del Valle.
- Poch, M. (1991). Las calidades del agua. Barcelona: Rubes Editorial, S.I.
- Ramírez, A. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. Anales de la Facultad de Medicina, v.69, n.1. Recuperado de <http://goo.gl/WAfapB> (An facd med).
- Romano, L. (2009). Manual de Guía Práctica para la Reducción de los riesgos y Desastres. Managua: Centro Alexander von Humboldt.

- Sabroso, M. y Pastor, A., (2004). Guía sobre suelos contaminados. Zaragoza: CEPYME ARAGON.
- Spiro, T. y Stigliani, W. (192004). Química Medioambiental. Madrid: PEARSON EDUCACION, S. A.
- Velázquez F. (2012). La contaminación en España: Los efectos del ozono y del cambio climático. España: Club Universitario.
- Páginas web:
  - <http://despertandoconcienciaplanetaria.wikispaces.com>
  - <http://espaciociencia.com>
  - [http://es.wikipedia.org/wiki/Suelo\\_salino](http://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_salino)
  - Ecolenormalesuperieure de Lyon<http://www.ens-lyon.fr/PlanetTerre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Cours>
  - <http://goo.gl/Q1pP0W>
  - <https://goo.gl/bvHcGn>
  - <http://goo.gl/S2Xep1>
  - <http://goo.gl/4Ba6fT>
  - <http://goo.gl/G0augc>
  - <http://goo.gl/yohPGA>
  - <http://goo.gl/85Gc9q>.
  - <http://goo.gl/hrwQR3>
  - <http://goo.gl/ruveoA>
  - <http://goo.gl/KuUY2b>
  - <http://goo.gl/L139pQ>
  - <http://goo.gl/3xKXVg>
  - <http://goo.gl/12CQaC>
  - <http://goo.gl/Bi5UxN>

- <http://www.reocities.com/houseofpinol/p6.html>
- <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/50288-Contaminacion-del-agua-potable-problemas-microbiologicos.html>
- [http://data.teca.unad.edu.co/contenidos/358004/358004/leccion\\_26\\_\\_tipo\\_y\\_caractersticas\\_de\\_los\\_microorganismos\\_segn\\_tipo\\_de\\_agua\\_potable\\_residual.html](http://data.teca.unad.edu.co/contenidos/358004/358004/leccion_26__tipo_y_caractersticas_de_los_microorganismos_segn_tipo_de_agua_potable_residual.html)
- <http://www.maremundi.com/contaminacion.asp?id=3>
- <http://revistaenlace.simas.org.ni/articulo/463>



