

Química Ambiental

CHAN-KEB, Carlos Armando
AGRAZ- HERNÁNDEZ, Claudia Maricusa
PERÉZ-BALÁN, Román Alberto
GUTIÉRREZ-ALCÁNTARA, Eduardo Jahir

ECORFAN®

ECORFAN-México

Coordinadores

CHAN-KEB, Carlos Armando. PhD
AGRAZ- HERNÁNDEZ, Claudia Maricusa. PhD
PERÉZ-BALÁN, Román Alberto. PhD
GUTIÉRREZ-ALCÁNTARA, Eduardo Jahir. PhD

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Química Ambiental

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos, de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Visite nuestro sitio WEB en: www.ecorfan.org

Primera Edición

ISBN: 978-607-8695-82-9

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control B: 2022-011

Clasificación B (2022):281122-0011

A los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209, y otra fracción aplicable III de la Ley del Derecho de Autor.

Books

Definición de Books

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Books es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

NUÑEZ - SELLES, Alberto Julio. PhD
Instituto Central de Análisis de Alimentos Utrecht

ESCAMILLA - GARCÍA, Erandi. PhD
Université de Bourgogne

NAVARRO - FRÓMETA, Amado Enrique. PhD
Instituto de Petróleo y Química Azerbaiján

ARMADO - MATUTE, Arnaldo José. PhD
Universidad de los Andes

RIVERA - BECERRIL, Facundo. PhD
Institut National de la Recherche Agronomique

CHEW - HERNÁNDEZ, Mario Luis. PhD
University of Nottingham

SOTERO - SOLIS, Victor Erasmo. PhD
Universidade de São Paulo

CORNEJO - BRAVO, José Manuel. PhD
University of California

OROPEZA - GUZMÁN, Mercedes Teresita. PhD
National Polytechnique de Toulouse

PINA - LUIS, Georgina Esther. PhD
Universidad de la Habana

Comité Arbitral

PALOS - PIZARRO, Isidro. PhD
Centro de Investigación en Química Aplicada

VALDÉS - ORDOÑEZ, Alejandro. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERRERA - PÉREZ, Gabriel. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

RIOS - DONATO, Nely. PhD
Universidad de Guanajuato

ALVARADO - FLORES, Jesús. PhD
Universidad Autónoma de Aguascalientes

DE LEON - FLORES, AneD. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTÍNEZ - HERRERA, Erick Obed. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

DUARTE - ESCALANTE, Esperanza. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

SALAZAR - HERNÁNDEZ, Ma. Mercedes. PhD
Universidad de Guanajuato

GARCÍA - ORTEGA, Héctor. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

Cesión de Derechos

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

Detección de Plagio

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Books con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

Química Ambiental

Environmental Chemistry

CHAN-KEB, Carlos Armando†*, AGRAZ-HERNÁNDEZ, Claudia Maricusa, PERÉZ-BALÁN, Román Alberto y GUTIÉRREZ-ALCÁNTARA, Eduardo Jahir

Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico Biológicas

ID 1^{er} Autor: *Carlos Armando, Chan-Keb* / **ORC ID:** 0000-0003-3494-9508, **CVU CONACYT ID:** 494719

ID 1^{er} Coautor: *Claudia Maricusa, Agraz- Hernández* / **ORC ID:** 0000-0001-9717-4514, **CVU CONACYT ID:** 216450

ID 2^{do} Coautor: *Román Alberto Pérez- Balan* / **ORC ID:** 0000-0003-2366-6617, **CVU CONACYT ID:** 100476

ID 3^{er} Coautor: *Eduardo Jahir, Gutierrez Alcantara* / **ORC ID:** 0000-0003-3659-1693, **CVU CONACYT ID:** 3663309

DOI: 10.35429/B.2022.10.1.166

*carachan@uacam.mx

Electricidad elemental para Universitarios

El Book ofrecerá contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Autónoma de Campeche para su área de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Autónoma de Campeche, se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Book propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento.

Resumen

La Química Ambiental, tiene como objeto de estudio los procesos químicos; reacciones, evolución e interacciones que tienen lugar en el medio ambiente: suelo, agua y aire, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que ello ocasiona. El objetivo de presentar el presente libro es proporcionar información donde el usuario cuente con una herramienta de mayor facilidad en la comprensión de los procesos complejos y las interacciones que ocurren en el medio ambiente en los diferentes compartimentos ambientales (atmósfera, agua, suelo y ecosistemas). Así mismo la información es muy didáctica y fácil de percibir lo que es el estudio de “Química Ambiental”. El libro está dividido en 5 partes: I. El medio ambiente y las sustancias (químicas), II. Los procesos en el aire, III. Los procesos en las aguas, IV. Los procesos en los suelos y V. Los desechos.

Ambiental, Interacciones, Ecosistemas, Compartimentos

Abstract

Environmental chemistry is the study of chemical processes, reactions, evolution and interactions that take place in the environment: soil, water and air, as well as the impact of human activities on our environment and the problems that this causes. The objective of presenting this book is to provide information where the user has an easier tool to understand the complex processes and interactions that occur in the environment in the different environmental compartments (atmosphere, water, soil and ecosystems). The information is also very didactic and easy to perceive what is the study of "Environmental Chemistry". The book is divided into 5 parts: I. The environment and (chemical) substances, II. The processes in the air, III. Water processes, IV. Soil processes and V. The waste.

Environmental, Interactions, Ecosystems, Compartments

Contenido

1. Introducción	1
Capítulo 1. El medio ambiente y las sustancias (químicas)	2
1. Introducción	2
1.1. El Medio Ambiente	2
1.2 Sistemas	3
1.3 El hombre y el medio ambiente	4
1.4 La química ambiental	5
1.5 Algo histórico	5
1.6. La explosión demográfica	7
1.7 La conciencia ambiental	9
2 La Tierra	10
2.1 Observaciones generales	10
2.2 La atmósfera	12
2.3 Los ciclos globales de las sustancias	14
2.4. Las reservas de los recursos naturales y de la energía	17
3 Las sustancias en el medio ambiente	17
3.1 Conceptos fundamentales	17
3.2 Las propiedades físicas y químicas de las sustancias y su importancia para el medio ambiente	21
3.3 La apreciación del comportamiento de una sustancia en el medio ambiente	22
3.4 La protección del medio ambiente	25
3.5 Ecobalance y la auditoria ecológica	27
3.6 Los valores MAK, TRK, BAT y MIK	28
Capítulo II. Los procesos en el aire	29
1. La atmosfera	29
1.1 Advertencias	29
1.2 La composición y las propiedades de la atmósfera	29
1.3 Los daños causados por los contaminantes del aire	38
1.4 Los fundamentos de las reacciones fotoquímicas	39
1.5 Los radicales. OH en la troposfera	41
2 El dióxido de carbono	42
2.1 Las propiedades	42
2.2 Las fuentes y los sumideros del CO ₂ , el ciclo de carbono	43
2.3 Los cambios de la concentración del CO ₂ en la atmósfera	46
2.4 Los gases traza y el clima	47
3 El monóxido de carbono (CO)	50
3.1 Las propiedades	50
3.2 Las fuentes y los sumideros del CO	50
4 Los compuestos de azufre	53

4.1 Sus propiedades y su uso	53
4.2. Las fuentes y los sumideros, el ciclo de azufre	54
4.3 Los efectos de los compuestos de azufre	55
4.4 Las lluvias ácidas y los daños de los bosques	56
5 Los compuestos gaseosos de Nitrógeno	58
5.1 Las propiedades	58
5.2 El ciclo natural de Nitrógeno	60
5.3 El Óxido de dinitrógeno (N ₂ O), sus fuentes y sumideros	61
5.4 El equilibrio de los NO _x , las fuentes y los sumideros	62
5.5 La influencia de los NO _x sobre los seres vivos	65
6 Los compuestos químico-orgánicos volátiles	66
6.1 Vista general	66
6.2 El metano	66
6.3 Los hidrocarburos no-metánicos	70
6.4 Los fotooxidantes	70
6.5 El foto-smog	72
6.6 Los gases de escape de los automóviles	74
7 El ozono en la estratosfera	78
7.1 La capa de ozono	78
7.2 El ciclo de chapman	80
7.3 La degradación catalítica del ozono	81
7.4 El agujero de ozono	88
7.5 Los daños causados por la radiación UV	90
8 Los aerosoles	92
8.1 La importancia de los aerosoles, sus fuentes y propiedades	92
8.2 Las composiciones y transformaciones de los aerosoles, su tiempo de vida	94
8.3 La influencia de los aerosoles sobre los seres humanos	96
Capítulo III. El agua	98
1 Fundamentos	98
1.1 Las propiedades físicas y químicas	98
1.2 La importancia del agua	100
1.3 El agua como disolvente para compuestos gaseosos	102
2 El ciclo de agua y las cargas del agua	103
2.1 Las relaciones cuantitativas en el ciclo de agua	103
2.2 Las aguas naturales y los océanos	105
2.3 Las cargas de las aguas	105
3 Las cargas de agua especiales	110
3.1. Los detergentes	110
3.2 Los compuestos policlorados de tipo bifenilo, dibenzodioxina y dibenzofurano	113

3.3 Los aceites	115
4 El agua potable y el tratamiento de las aguas residuales	115
4.1 El agua potable	115
4.2 Las aguas residuales	119
4.3 El tratamiento de los lodos	121
Capítulo IV. El Suelo	122
1 Introducción	122
2 Los fertilizantes	126
3 Las cargas del suelo	128
3.1 Generalidades	128
3.2 Las sustancias ácidas	129
3.3 Los pesticidas	130
4 Los metales pesados	131
4.1 Generalidades	131
4.2 El mercurio (Hg) como contaminante Cerash	135
4.3 El plomo (Pb)	136
4.4 El cadmio (Cd)	136
5 Las cargas antiguas	137
Capítulo V. Los desechos	138
1 Vista general	138
2 Los vertederos	141
3 El reciclaje	141
4 Los desechos especiales	143
Conclusión	145
Referencias	146

1. Introducción

La Química Ambiental, tiene como objeto de estudio los procesos químicos; reacciones, evolución e interacciones que tienen lugar en el medio ambiente: suelo, agua y aire, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que ello ocasiona. La química ambiental comprende varias áreas, como Biología, Geología, Mineralogía, Ecología, Toxicología, Microbiología, Bioquímica, etc. Trabaja en el estudio de los cambios que se producen en la atmósfera, el agua y el suelo, que pueden comprometer la salud humana o influir negativamente en la vida terrestre. Hoy en día, el cuidado del medio ambiente es de gran importancia, ya que es nuestro medio, y sin un medio ambiente adecuado y protegido, la supervivencia de la especie en general es imposible y, en gran medida, la importancia de la Química en el medio ambiente se basa en esto.

La actividad indiscriminada del hombre ha afectado severamente el medio ambiente, y consecuentemente su propia calidad de vida se ha visto afectada, a través de los siguientes efectos: A) La contaminación de los ríos, por el uso excesivo de herbicidas, fertilizantes, pesticidas, entre otros agentes químicos, no biodegradables, que permanecen por largos períodos de tiempo, que están afectando a los seres humanos, y a los animales al grado de causar graves intoxicaciones, e incluso la muerte. B) La falta de control en la propagación de gases (monóxido de carbono, dióxido de carbono, etc.) por parte de los automóviles, así como por parte de las industrias, es lamentable que muchos países no cuenten con leyes estrictas para vencer esta situación que destruye la atmósfera, y provoca el efecto invernadero, que consecuentemente está matando a muchas especies, y a su vez modificando nuestro medio ambiente. C) Contaminación por residuos de basura, por la poca conciencia de la actividad de que muchos de estos residuos pueden ser reciclados y reutilizados en el futuro (Baird, 2018).

En este libro se presenta información acerca de los procesos y problemas ambientales un poco más desde el punto de vista químico. Así mismo no se necesitan conocimientos químicos muy profundos para entender este material, pero algunos conocimientos básicos serían favorables. La información es muy didáctica y fácil de comprender lo que es el estudio de “Química Ambiental”. El libro está dividido en 5 Capítulos: I. El medio ambiente y las sustancias (químicas), II. Los procesos en el aire, III. Los procesos en las aguas, IV. Los procesos en los suelos y V. Los desechos. Como los procesos químicos ambientales son procesos muy reticulados, vamos a tratar algunos de los subtemas en más de un solo capítulo, pero siempre bajo diferentes puntos de vista.

Capítulo 1. El medio ambiente y las sustancias (químicas)

1. Introducción

En este capítulo queremos explicar algunos conceptos y definiciones que nos sirven como base para entender los capítulos siguientes.

1.1. El Medio Ambiente

Era el año de 1800 cuando el poeta danés Jens Immanuel Baggesen usó en su obra dirigida a Napoleon por primera vez la palabra Umwelt (Medio ambiente).

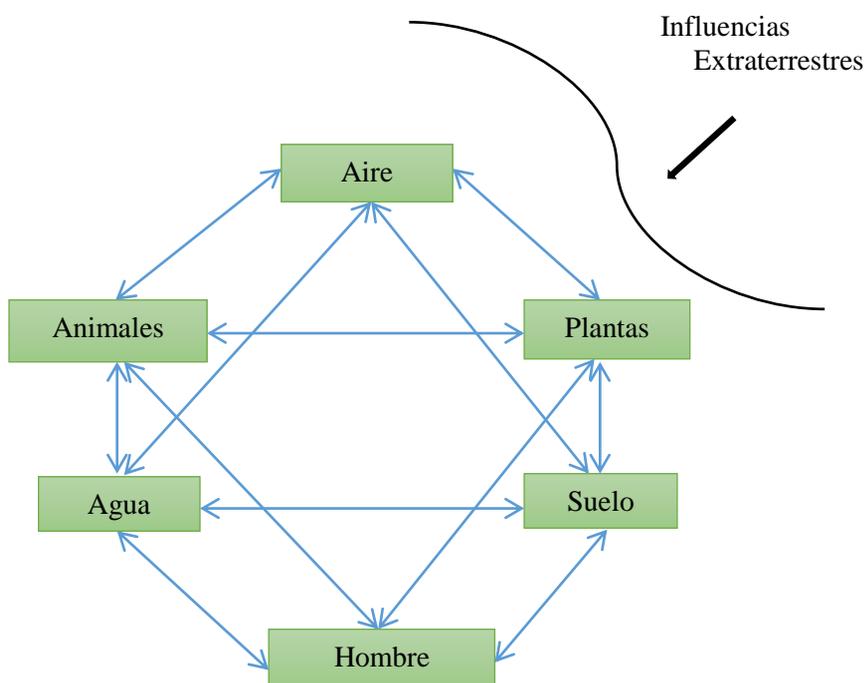
El biólogo alemán Jacob Von Uexküll introdujo esta palabra al vocabulario de las ciencias naturales y exactas en el año 1909 y el también fundó en 1924 en Hamburgo el primer instituto con este nombre: “Institut für Umweltforschung” (Instituto para la investigación del medio ambiente). Para Uexküll el “Medio ambiente” era la suma de todos los factores que rodean a un ser vivo con los cuales interacciona entre estos mismos.

Hoy día el término técnico “Medio ambiente” también es una palabrea de moda y por lo tanto su uso muchas veces no es muy exacto. Nosotros queremos entender este término técnico como: El conjunto de todas las influencias o acciones directas o indirectas sobre un ser vivo y las reacciones de este con el mundo restante. Por otra parte, las influencias naturales, en un sentido más amplio, pertenecen a estas influencias también las influencias sociales y mentales (espirituales).

En el contexto de este libro únicamente queremos entender el medio ambiente en el sentido más sencillo, es decir queremos dedicarnos a las interacciones naturales. Las influencias sobre un ser vivo pueden ser: influencias abióticas o bióticas, influencias climáticas, químicas o mecánicas, influencias naturales o antropogénicas y otras más.

Muchas veces en lugar de “Medio ambiente” se habla también de “Biosfera”, lo que es toda la capa terrestre ocupada por cualquier forma de vida: la atmósfera se presenta una altura de ≈ 25 km, los océanos se presenta una profundidad de ≈ 10 km y el suelo se presenta una profundidad de ≈ 3 km. El “Medio ambiente” siempre es un sistema muy complejo en el cual los componentes principales son: el suelo, el agua, el aire, la fauna, la flora, el clima y no en último lugar nosotros los seres humanos (Figura 1).

Figura 1 Los componentes principales del medio ambiente y sus interacciones



1.2 Sistemas

Si hablamos del medio ambiente, entonces hablamos de un sistema.

Un sistema es un conjunto o una agrupación de diferentes componentes los cuales en cierta manera mutuamente están en relaciones reciprocas.

Por causa de estas relaciones un sistema es más que la pura suma de los componentes. Se trata de un nuevo conjunto que difiere de la suma de las propiedades de sus componentes. Esta diferencia es caracterizada por la estructura, la organización y la red de interacciones dentro del conjunto.

– Cambio de la cantidad a una nueva realidad

Hay sistemas prácticamente cerrados y sistemas abiertos. Un sistema puede interactuar con otro(s) formando de tal manera supersistemas. Los sistemas son dinámicos, los sistemas “viven”.

Para investigar sistemas o para tratarlos, p.ej. matemáticamente, muchas veces es necesario hacer una aproximación, es decir, verlos como sistemas cerrados y estáticos.

El sistema “Medio ambiente”, la biosfera, es uno de los supersistemas muy complejos que consiste de la naturaleza viva y de la naturaleza inanimada y sus interacciones.

Por lo tanto, los exámenes y vistas aislados de un solo componente, de un solo fenómeno sus desarrollos en dependencias de algún parámetro (del tiempo etc.) en la mayoría de los casos no es muy conveniente porque los resultados no son válidos por causa de las retroacciones que existen dentro de un sistema.

En cuanto al medio ambiente un pensamiento lineal (cada acción, cada fenómeno son atribuidos a una solo causa) en la mayoría de los casos no tiene éxito.

Para entender un sistema tan complejo se necesita un pensamiento reticulado.

Por causa de las interacciones y retroacciones dentro del medio ambiente muchas veces no es posible encontrar una respuesta sencilla para resolver un problema ambiental.

Existen unas reglas fundamentales:

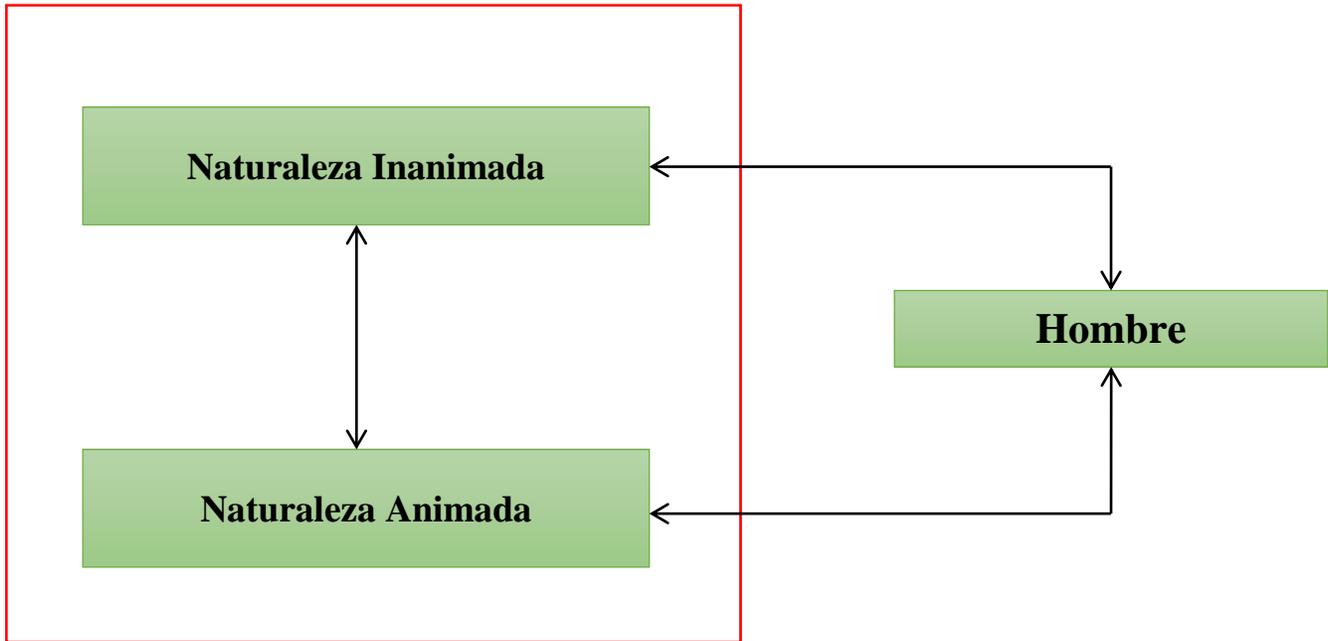
1. Es más fácil evitar un problema ambiental que eliminar daños ya existentes.
2. Si queremos resolver un problema que ya existe, entonces es más fácil y frecuentemente más económico buscar y eliminar las fuentes del problema.
3. Por causa de la complejidad del sistema entero se investigan ciertos comportamientos del mismo (como aproximación) y después se mejora el modelo por tener en cuantas las interacciones y retroacciones entre ellos.

Comportamientos importantes del sistema medio ambiente son: la atmósfera, el suelo, los océanos.

Pero un comportamiento también puede ser el conjunto de todas las plantas verdes, un bosque, un árbol, una célula, etc.

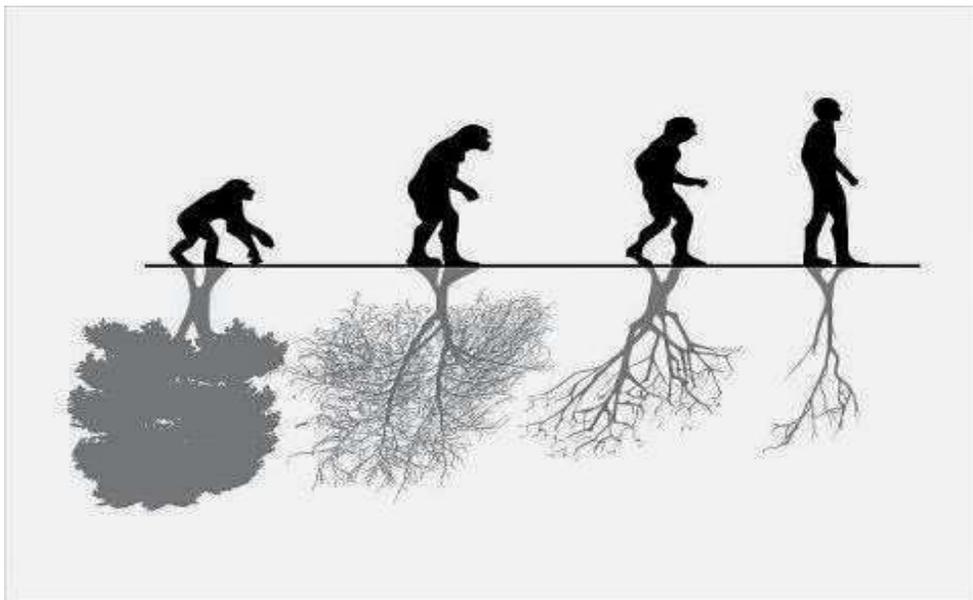
En el contexto con los seres vivos frecuentemente se usa el término técnico: ecosistema o sistema ecológico.

Bajo esta palabra se entiende algún sistema parcial, más o menos claramente delimitado, dentro del conjunto de todos los organismos y su espacio vital, p.ej.: un bosque un rio, un lago, el desierto, el mar, etc (Figura 2).

Figura 2 El ecosistema y sus interacciones

1.3 El hombre y el medio ambiente

El hombre forma parte del ecosistema de la tierra. El influye sobre su medio ambiente y el medio ambiente influye sobre él.

Figura 3 El hombre y el ecosistema de la tierra

Hay influencias indispensables e influencias inútiles. A lo largo del tiempo del hombre ha cambiado a ser la magnitud determinante dentro del ecosistema terrestre. Todavía hace pocos años la humanidad no se dio cuenta de este hecho.

Para la mayoría de la gente, los efectos retroactivos de las actividades industriales de los hombres son visibles o notables desde hace pocos años.

Ya es obvio que el desarrollo futuro del medio ambiente y con este el futuro de nuestro planeta dependerá de la habilidad del hombre para entender el carácter de la biosfera como un sistema complejo y también dependerá de su voluntad de cambiar su comportamiento y sus costumbres.

Especialmente el crecimiento rápido de los montes de basura es un indicio fuerte de que los mecanismos de la autorregulación del mercado (de la economía) en su forma actual no funcionan para resolver los problemas ambientales más urgentes.

Es necesario que los elementos ecopolíticos logren más importancia en todos los procesos decisivos a todos los niveles de la sociedad humana.

En cuanto a las influencias humanas sobre el medio ambiente podemos diferenciar entre dos formas de carácter diferente:

- El impacto ambiental (*environmental impact*) es el conjunto de todos los factores perturbadores para el medio ambiente (p.ej. la extracción de material en grandes cantidades o la entrega de material no naturales al medio ambiente. Este término técnico se usa, si no resultan influencias claramente negativas sobre el medio ambiente.
- La contaminación ambiental (*environmental pollution*) es la entrega de materiales que causan cambios negativos de las condiciones para la materia viva en el ecosistema. (contaminación del aire, del agua, del suelo, etc.)

1.4 La química ambiental

La química ambiental se dedica a los aspectos químicos de los procesos que pasan en el medio ambiente.

Se dedica a las fuentes y los sumideros (procesos de agotamiento) de las sustancias, su transporte (movimiento circulatorio), su distribución, sus reacciones y acciones en el aire, el agua y el suelo, sus influencias sobre la materia viva y sobre objetos como p.ej. edificios y materiales.

A veces ustedes pueden encontrar en la literatura los términos técnicos: Química ecológica o ecoquímica, la cual se dedica a la investigación de los cambios de las sustancias químicas en la biosfera y ecotoxicología la que es la ciencia de la distribución de sustancias y su acción negativa directa o indirecta (acción tóxica).

1.5 Algo histórico

La historia del medio ambiente y de la química ambiental esencialmente es la historia de la contaminación ambiental.

Observamos una contaminación o un impacto ambiental “normal” por el tráfico, la industria y la agricultura, y había y hay, una y otra vez, contaminaciones accidentales causadas por tecnologías no suficientemente seguras o por errores humanos, y también, pero muy raramente, por catástrofes naturales. Además, hay contaminación por ignorancia o por actos criminales.

Las contaminaciones de aire

En el pasado eran en primer lugar contaminaciones por humo, por el dióxido de azufre (SO₂) y por polvo.

Ya los antiguos romanos lamentaron la impureza del aire dentro de la ciudad. A partir del siglo XIII aumentaron los problemas con la explotación y el uso del carbón de piedra. La reina inglesa Isabel I prohibió en 1578 quemar en Londres el carbón durante las sesiones del parlamento.

El químico francés La Voisier logró en París la fama negativa de ser el causante de la contaminación del aire, no por causa de sus experimentos químicos sino por ser funcionario de Hacienda. En esta propiedad él mandó construir un muro alrededor de la ciudad para controlar mejor la entrega de impuestos. Sin embargo, este muro causó que los malos olores se quedaran dentro de la ciudad y pocos años después fue demolido este muro.

Más o menos a mitad de nuestro siglo los motores de combustión causan nuevas cargas y nuevos peligros para el aire.

Las contaminaciones del agua

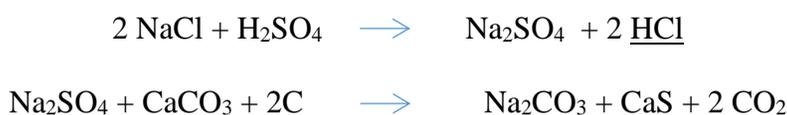
La mayoría de las ciudades antigua en todo el mundo eliminaron sus desechos todavía hasta el siglo XIX directa o indirectamente hacia los ríos y lagos sin tratamiento alguno.

Por otro lado, las instalaciones centrales para el abastecimiento de agua potable ya existieron desde muy temprano. Por su importancia central en muchas comunidades, la contaminación de pozos era un delito muy grave y se sancionó fuertemente, a veces hasta con la pena de muerte.

En cuanto al uso de los ríos, arroyos y lagos como medio de transporte de basuras, nuestros antepasados (también en Europa) fueron muy espléndidos (y la gente en México todavía lo es).

Con el desarrollo de la industria química a partir de 1850 surgió otra fuente de contaminaciones importantes. Por primera vez usaron reactivos químicos en cantidades grandes para la producción de textiles y la fabricación de vidrio. De la producción del carbonato sódico resultaron productos laterales que causaron graves daños ambientales:

Figura 4 Fórmulas



También del proceso más moderno, SOLVAY, para la producción del carbono sódico resultó una gran cantidad de producción de desechos, en primer lugar, el CaCl_2 .

Para la producción de jabón se usa el NaOH , que anteriormente se produjo a partir de la sosa y más tarde por un proceso electroquímico a partir del NaCl



Al principio el cloro se dejó salir a la atmosfera. Mucho más tarde empezó la química de cloro que ahora lo usa como materia prima.

Con todo este desarrollo también aumentó el riesgo para los trabajadores de la industria.

Las primeras enfermedades causadas por problemas ambientales en la historia humana seguramente eran las intoxicaciones por metales (Hg , Cu , Pb , etc). A partir de más o menos 1900 la gran producción y el uso de los colorantes sintéticos a base de la anilina causó para muchos trabajadores el llamado cáncer de anilina. Más tarde se encontró que la sustancia culpable era un producto lateral, la β -naftilamina.

Los daños ambientales causados por la agricultura también tienen su historia.

Los antiguos griegos y romanos usaron el trióxido de diarsénico As_2O_3 , como plaguicida en los cultivos de uva o quemador de azufre (SO_2) para lograr el mismo efecto.

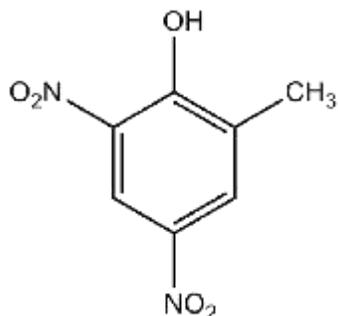
A partir del siglo XIX se utilizó el llamado verde de París



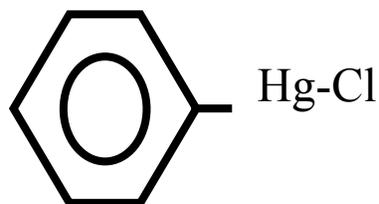
Para luchar contra los enjambres de langostas y otros insectos.

Más tarde se sintetizaron los primeros pesticidas orgánicos, los cuales a veces se usan todavía. p. ej.

El 4,6-dinitrito-o-cresol (1882)



El cloruro de fenilmercurio (1915)

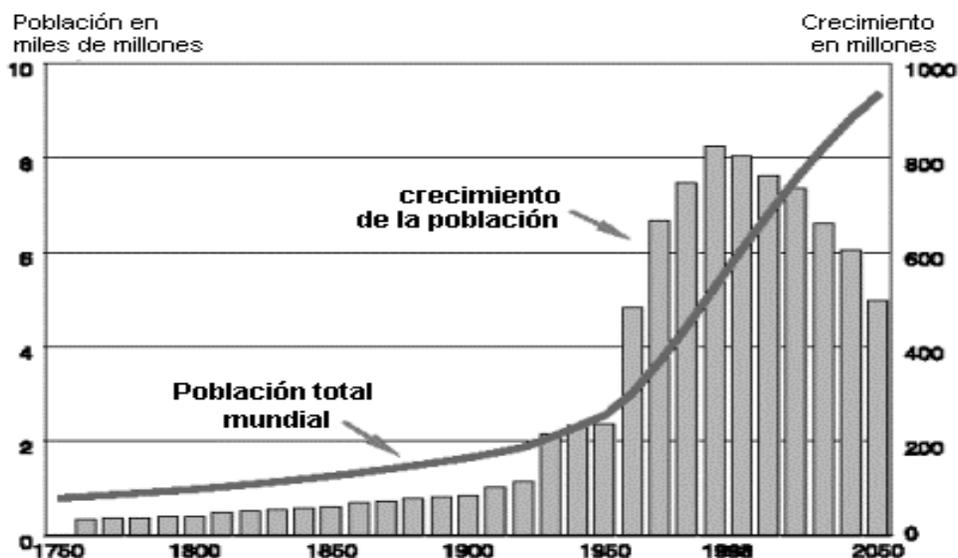


1.6. La explosión demográfica

Los problemas ambientales no únicamente son causados por falta de conocimiento, aunque el nivel educativo tiene mucha influencia.

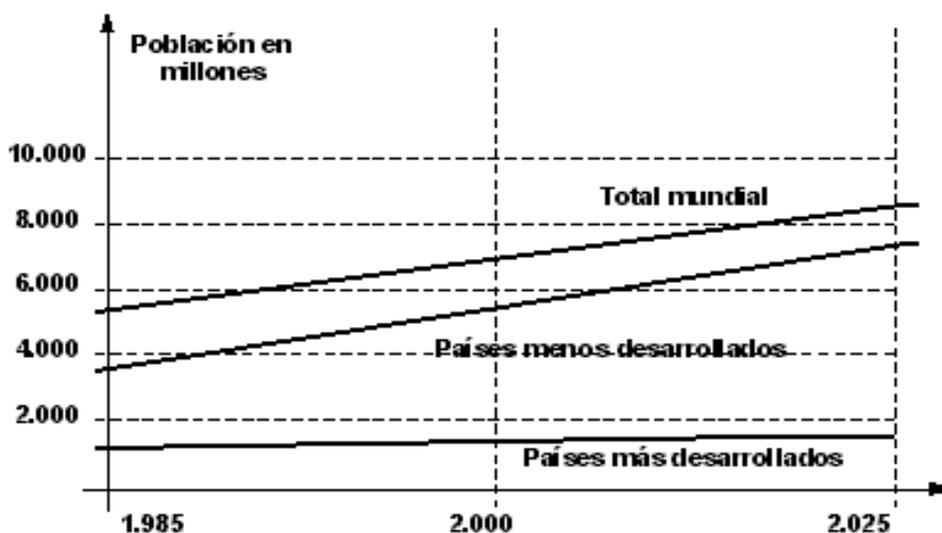
Un problema muy grave también es la explosión demográfica.

Figura 5 Estimación de la población mundial para el año 2025 entre 7.5 y 9.6 mil millones de habitantes



El crecimiento más fuerte y en una curva exponencial tiene lugar en los países en desarrollo, mientras que en los países industrializados este desarrollo sigue en una manera casi lineal.

Figura 6 Población de ciudades en millones, países en desarrollo e industrializados



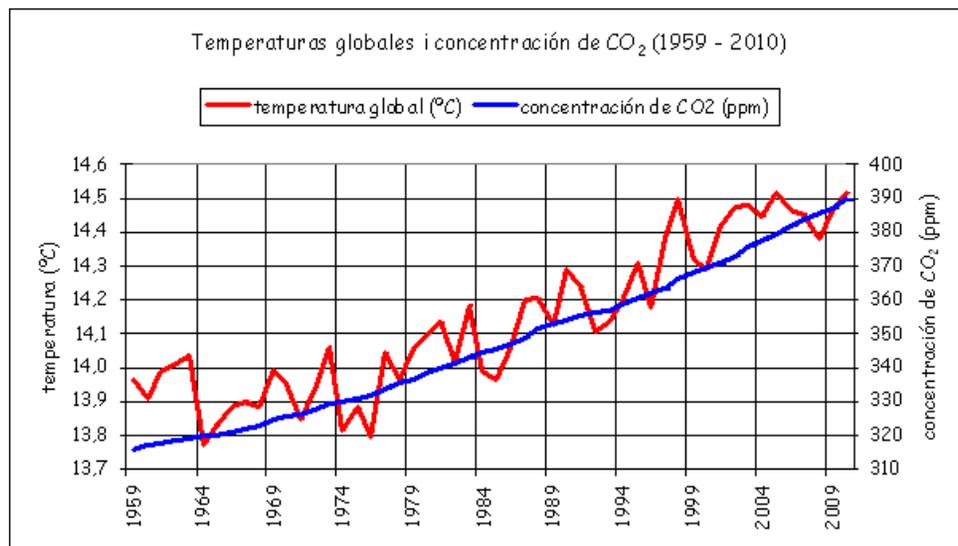
El desarrollo demográfico en primer lugar no es un problema alimenticio. El área posible para los cultivos alcanza para alimentar el doble de la población actual. El problema es más un problema de la distribución de los recursos.

Además, los hombres son seres culturales y necesitan más que aire, agua y alimentos.

Todo eso cuesta materias primas y energía y causa cantidades crecientes de desechos. Son sobre todo estas necesidades las que no están y no estarán en concordancia con el crecimiento de la población mundial. Actualmente la minoría de la población que es rica y vive en el hemisferio norte gasta la mayoría de los recursos.

Por ejemplo, el consumo de energía se triplicó entre 1950 y 1986 y como consecuencia también aumento la emisión del dióxido de carbono (CO₂).

Figura 7 Concentración de dióxido de carbono.



Los esquemas siguientes muestran este desequilibrio muy claramente para el año 1990.

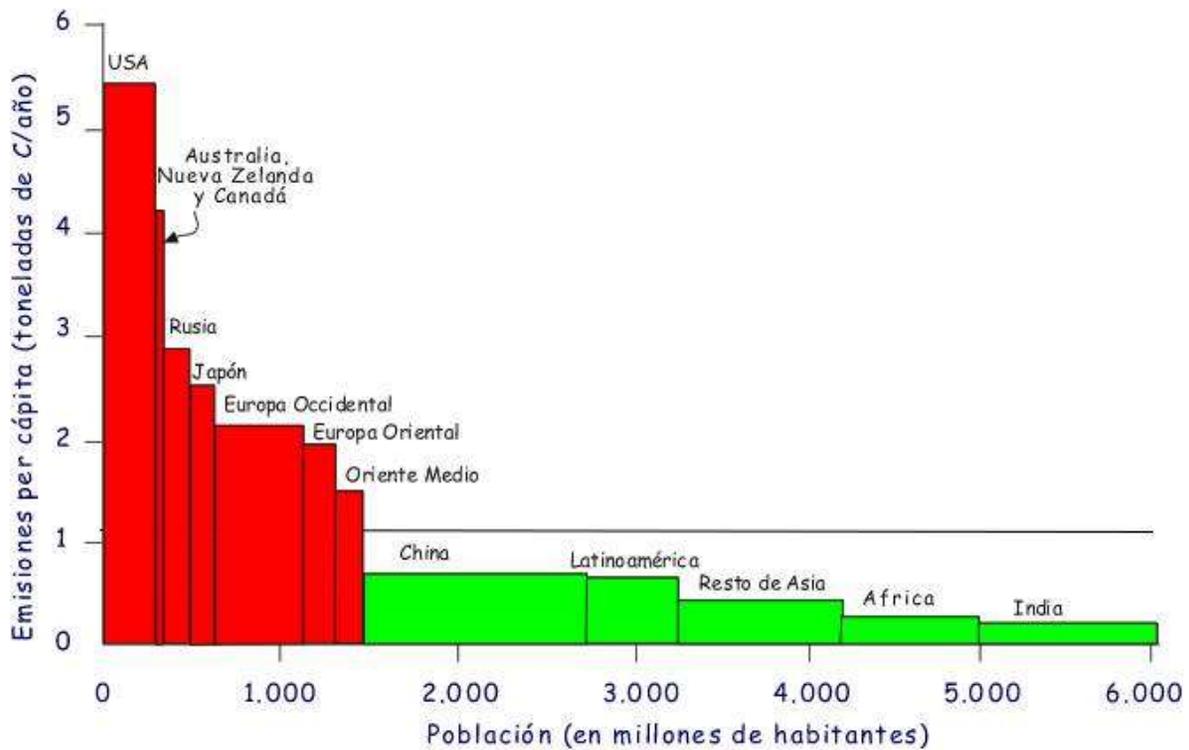
La expresión de la concentración de los contaminantes puede ser representada con respecto a la:

- La fracción volumétrica
- La relación volumétrica
- La relación de la mezcla

$$p = \frac{[V]A \text{ (fracción volumétrica)}}{[V]Z \text{ (volumen total)}}$$

ϕ	%
10 ⁻²	0/0
10 ⁻³	0/00
10 ⁻⁶	ppm
10 ⁻⁹	ppb
10 ⁻¹²	ppt

Figura 8 Esquema de desequilibrio y misiones de CO₂ en diversas naciones y regiones del mundo en el año 2000



1.7 La conciencia ambiental

En los últimos años y especialmente en Europa la discusión pública de los problemas ambientales ha crecido bastante. Los temas son:

La muerte lenta de los bosques (por ejemplo, los alemanes aman y aprecian mucho los bosques tan verdes.) las lluvias acidas, el agujero de ozono, el efecto invernadero, las sustancias venenosas en los alimentos.

Jugaron y siguen jugando un gran papel. Esta nueva conciencia ambiental ha penetrado todas las áreas de las sociedades y también la política. Lo último se refleja en un gran número de leyes ambientales.

Inducido por las informaciones entregadas por los periódicos, la televisión y la radio la gente considera como amenaza fundamental para la existencia de la humanidad:

La estrechez de miras en el manejo de recursos y su uso prodigo, La contaminación del aire, agua y suelo, la pérdida de bosques, el desarrollo del clima, el desarrollo demográfico mundial.

La química analítica moderna puede determinar la existencia de sustancias peligrosas en concentraciones inimaginablemente bajas y su discusión pública también causa temores y activan la conciencia ambiental. Realmente la determinación de 1 ng/L lo que hoy día es posible, casi no es imaginable tampoco para un científico (corresponde a una disolución de un trozo de azúcar de un volumen de 1 cm³ en 3 mil millones litros de agua, lo que corresponde a un tanque de 145 m x 145 m x 145 m). Y realmente hay sustancias que son tóxicas en concentraciones tan bajas, como p. ej. las dioxinas o el DDT, si su acción sobre un organismo tiene suficiente tiempo.

Mucha gente siente y experimenta que las condiciones ambientales se han ido desmejorando y se da cuenta que la calidad de su vida y la de sus hijos depende mucho de la calidad del medio ambiente.

Un dicho muy verdadero de los indios norteamericanos dice:

“La tierra no es nuestra, la tenemos prestada de nuestros hijos y nietos”

El ya citado Goethe también dijo:

“No es suficiente saber algo, también hay que aplicarlo; no es suficiente querer hacer algo, también hay que hacerlo.”
La protección del medio ambiente es la protección de la prosperidad.

2 La Tierra

2.1 Observaciones generales

La tierra como la conocemos hoy es el producto de una evolución muy larga. Se formó hace más o menos 4.6 millones de años.

La parte de la tierra que nos interesa en el contexto con el medio ambiente es la corteza terrestre.

Bajo este término técnico se entiende toda la parte más o menos exactamente investigable de la litosfera (la capa de roca), la pedosfera (la parte formada por descomposición de rocas), la hidrosfera (todas las aguas superficiales, la nieve, el hielo y toda el agua dentro de la corteza terrestre), la atmósfera y la biosfera (toda la parte ocupada por cualquier forma de vida).

Figura 9 Interacción de las esferas del medio ambiente

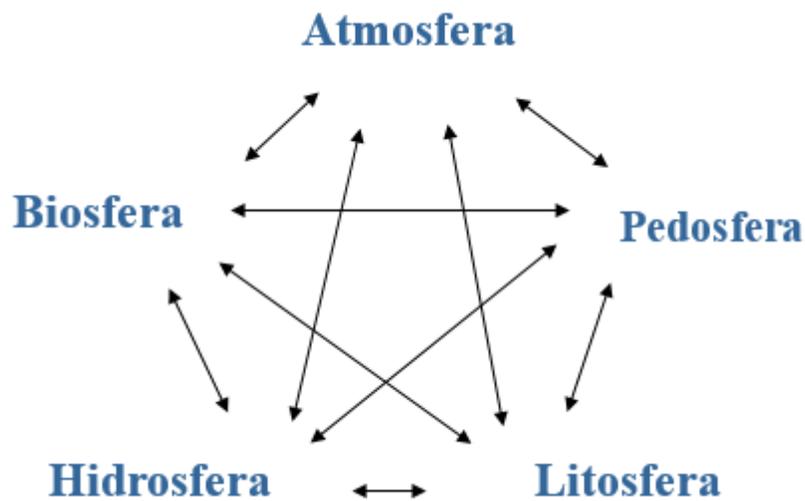


Figura 10 La grafica muestra los elementos químicos más abundantes de la corteza terrestre

Abundancia de elementos en la corteza terrestre

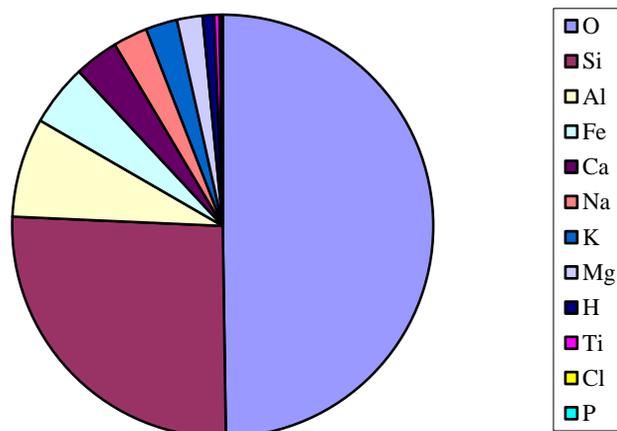


Tabla 1 La tabla muestra la composición de los elementos (%) de la corteza terrestre en comparación a la composición del cosmos

Corteza terrestre		Cosmos	
O	49.5	H	92.45
Si	25.8	He	7.399
Al	7.57	O	0.0629
Fe	4.70	C	0.0292
Ca	3.38	N	0.00777
Na	2.63	Ne	0.00518
K	2.41	Mg	0.00374
Mg	1.95	Si	0.00370
H	0.88	Fe	0.00318
Ti	0.41	S	0.00178
Cl	0.19	Ar	0.00081
P	0.05	Al	0.00030

Los 10 elementos más frecuentes ya forman el 99% de la corteza terrestre. Casi la mitad de todo es el oxígeno. Por otro lado, los elementos que usamos frecuentemente en muchos materiales de uso cotidiano no son muy frecuentes.

En la química ambiental a veces se diferencia entre los llamados elementos atmófilos que son elementos fáciles transportados por la atmosfera (elementos gaseosos, Hg, Pb y otros que son muy volátiles o que forman compuestos volátiles) y los elementos litófilos que se enriquecen en la litosfera en forma de oxígenos, silicatos, sales, etc.

Estos elementos en primer lugar son transportados por el agua.

Las próximas tablas nos dan una idea en cuanto a la superficie, volúmenes y masas de los diferentes partes de la ecosfera:

Figura 11 Áreas, volúmenes y masas de algunas partes de la exosfera

Áreas volúmenes y masas de algunas partes de la ecosfera	
Superficie terrestre (70.8 % Mar)	$510 \times 10^6 \text{ km}^2$
Atmósfera masa total (76.9% Troposfera)	$52 \times 10^{14} \text{ t}$
Hidrosfera	
Océanos (Superficie)	$364 \times 10^6 \text{ km}^2$
Océano Atlántico (Volumen)	$318 \times 10^6 \text{ km}^3$
Lagos y rios (Superficie)	$2 \times 10^6 \text{ km}^2$
Pedosfera	
Masa (Espesor en promedio = 5m)	$16 \times 10^{14} \text{ t}$
Superficie	$130 \times 10^6 \text{ km}^2$

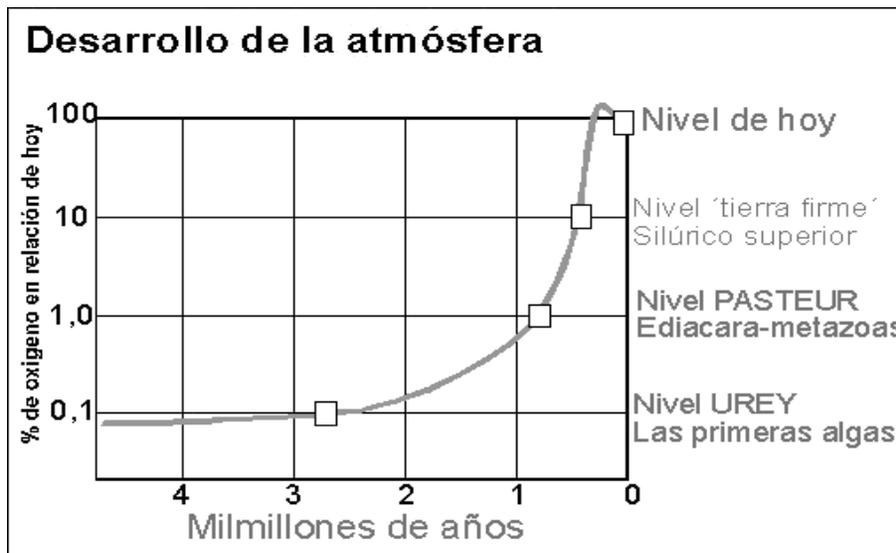
Figura 12 División de las tierras firmes

Division de las tierras firmes	
	Área [10^6 Km^2]
Bosques y selvas	40
Desiertos y semidesiertos	33
Pastizales	26
Tierra laborable	14
Antártida	13
Áreas urbanizadas	12
Tundra	5
Otras áreas	6
Total	149

2.2 La atmósfera

La atmósfera actual no es idéntica a la atmósfera primitiva (Figura 13).

Figura 13 Desarrollo de la atmósfera



La atmósfera primitiva no contenía nada de oxígeno. Esto muestra las rocas sedimentarias más antiguas que se formaron más o menos hace 3.7 mil millones de años y las cuales contienen el hierro en su estado de oxidación +2 (en presencia de oxígeno se forma el Fe^{+3}). Con esta atmósfera pobre en oxígeno se desarrollaron las primeras formas de vida que tenía un metabolismo anaeróbico. Formas de este tipo de microorganismos todavía existen en orificios volcánicos en la base de los océanos profundos, en manantiales sulfurosos calientes, en casquetes polares congelados y hasta dentro de las rocas. Los científicos las llaman "extremófilos".

Hace más o menos 3 mil millones de años se formaron los primeros organismos primitivos (algas azules) con un metabolismo diferente. Como producto de este metabolismo se formó el oxígeno.



Este oxígeno era consumido por el conjunto de los elementos químicos fácilmente oxidables, como son Si, Fe, Ca, S, y otros, formando óxidos, silicato, sulfatos, etc.

Más o menos unos mil millones de años más tarde, hace dos mil millones de años, casi todos los elementos oxidables se acabaron y la atmósfera empezó a transformarse en una atmósfera más rica en oxígeno.

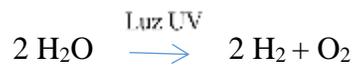
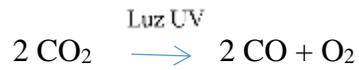
Para las formas primitivas de la vida el oxígeno era muy venenoso. Pero se desarrollaron formas resistentes contra el oxígeno con un metabolismo aeróbico.

Figura 14 Fotosíntesis del O_2

La fotosíntesis		
Formación de O_2		
$n\text{H}_2\text{O} + n\text{CO}_2$	$\frac{h\nu}{\text{Clorofila}}$	$\{ \text{CH}_2\text{O} \}_n + n \text{O}_2$
$6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2$	$\frac{\text{luz } h\nu}{\text{Clorofila}}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
2CO_2	$\frac{\text{Luz } U\nu}{\cdot}$	$2\text{CO} + \text{O}_2$
$2\text{H}_2\text{O}$	$\frac{\text{Luz } U\nu}{\cdot}$	$2\text{H}_2 + \text{O}_2$

La idea de que el oxígeno podía proceder de procesos de desgasificación de la tierra no es válida porque en este caso se formarían también los silicatos muy estables.

Otra idea es que el oxígeno podía proceder del CO₂ o del agua, los cuales sufrieron fotodescomposición por la intensa luz ultravioleta del sol.



En el primer caso el contenido de CO en la atmosfera actual sería mucho más alto. En cuanto a la segunda posibilidad hay que mencionar que para la fotodescomposición de agua es necesario una luz de longitud de onda <210nm, que es exactamente la luz absorbida por el propio oxígeno. Ya con una concentración de oxígeno baja no entraría nada de luz de esta longitud de onda a la atmosfera y el proceso se pararía.

La composición de la atmosfera actual la vemos en el próximo esquema.

Los esquemas siguientes nos muestran la división de la atmosfera según diferentes puntos de vista:

Figura 15 Composición de atmósfera seca

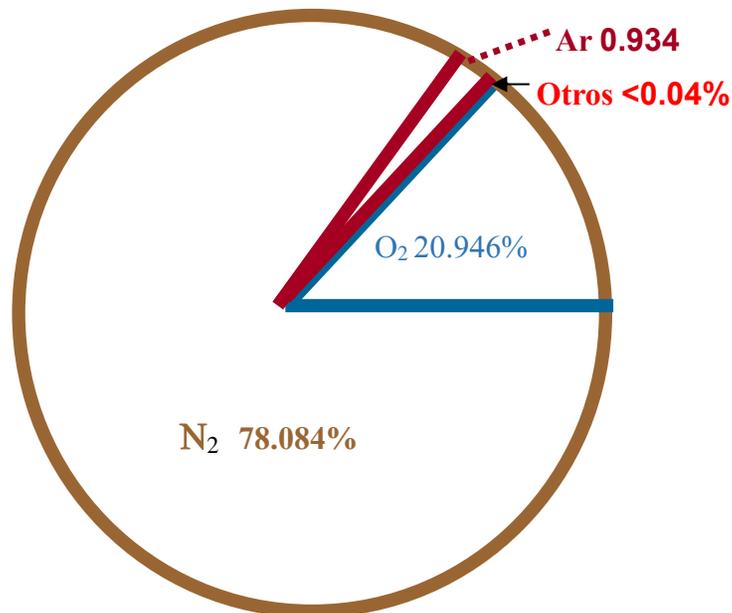
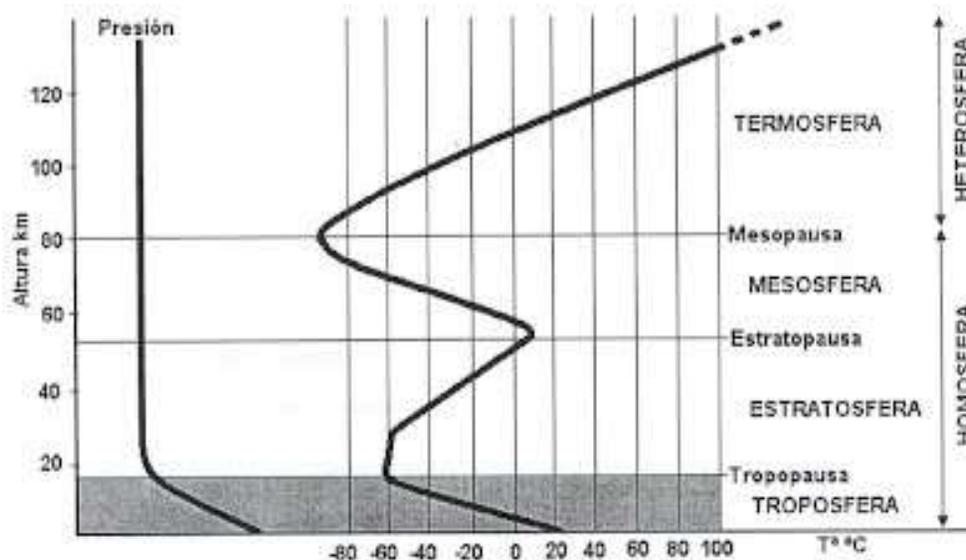


Figura 16 Partes de la atmósfera



Figura 17 División de atmósfera



El volumen en el cual los procesos meteorológicos tienen lugar corresponde a 1/ 50, 000 del volumen total de la atmósfera. Sin embargo, dentro de este volumen se encuentra 10, 000 veces más gas que en el resto. La cantidad el vapor de agua en la troposfera puede alcanzar hasta 3%.

De gran importancia son las áreas con temperaturas máximas o mínimas a lo largo de la altura de la atmósfera (tropopausa, estratopausa, mesopausa) porque son áreas límites para el proceso de mezclar los gases y por consiguiente para el transporte de sustancias.

Por ejemplo, se calcula que un gas necesita en promedio entre 22 y 3 años para pasar de la troposfera hacia la estratosfera, cruzando la tropopausa.

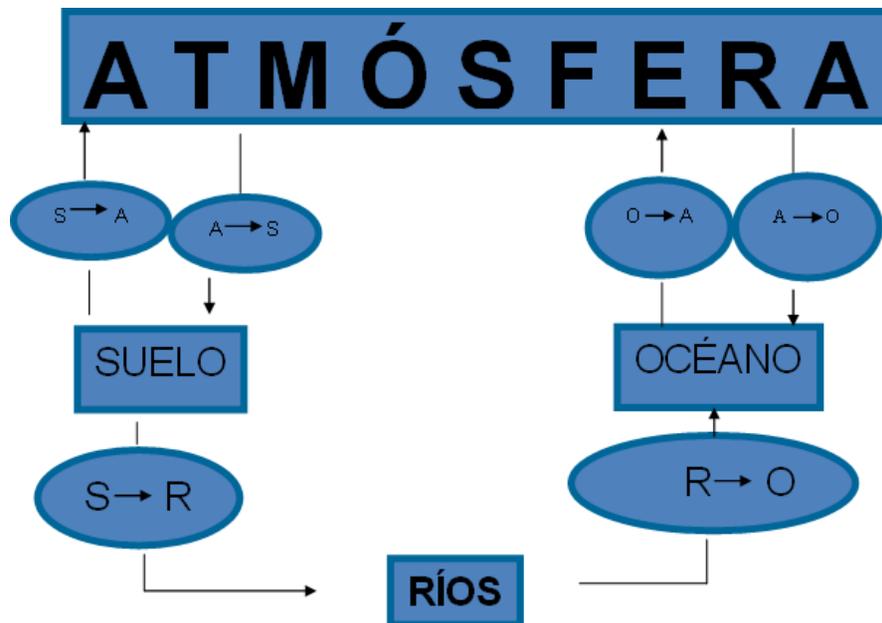
2.3 Los ciclos globales de las sustancias

En la naturaleza casi todas las sustancias participan en ciclos. En dependencia de sus propiedades físicas y químicas se mueven en cantidades y velocidades diferentes entre los compartimientos del medio ambiente. Los ciclos de las sustancias son uno de los requisitos más importantes para los procesos de vida en la tierra.

Más de la tercera parte de los elementos químicos sufren un reciclaje biológico. Todos los seres vivos necesitan hidrogeno (H), oxígeno(O), carbono (C), nitrógeno (N), y otros elementos como fosforo (P), azufre (S), calcio (Ca), potasio ((K), magnesio (Mg), sodio (Na), cloro (Cl), y otros. No en ultimo termino los procesos biológicos causan en gran parte la acumulación de muchos elementos (p. ej. el carbono en forma del carbón, el carbonato de calcio en los arrecifes de coral, e iodo (I) por algunos tipos de algas etc.).

Los más importantes comportamientos para el transporte de las sustancias son la atmósfera y los ríos.

Figura 18 Modelo del ciclo de sustancias en el medio ambiente



Los dos, pero mucho más lo océanos y el suelo también actúan como acumuladores o depósitos de sustancias.

Si en un comportamiento para una sustancia los procesos de alimentación exceden los de salida, entonces este comportamiento tiene la función de un sumidero para esta sustancia.

Si los procesos de salida exceden los de entrada el comportamiento, entonces este tiene la propiedad de una fuente para la sustancia en cuestión.

La tabla siguiente muestra para algunos elementos importantes las cantidades anualmente transportadas entre los compartimientos ambientales: atmósfera, suelo, océanos y ríos.

Tabla 2 Transporte de algunos elementos químicos importantes entre los compartimientos atmósfera (A), suelo (S), océano (O), ríos (R) y a (años)

Elemento		AS	SA	RO	OA	AO
Oxígeno	[10 ¹⁷ kg/a]	1.0	0.7	0.3	3.7	3.4
C	[10 ¹⁴ kg/a]	1.2	1.27	<0.01	0.1	0.1
S	[10 ¹⁴ kg/a]	0.7	1.6	2.1	1.6	2.6
P	[10 ⁹ kg/a]	3.2	4.3	19.0	0.3	1.4
Pb	[10 ⁸ kg/a]	3.2	4.7	7.8	<0.01	1.4
Cu	[10 ⁷ kg/a]	6.2	7.1	632.0	<0.01	1.3

Por lo general es difícil estimar o calcular para una sustancia las cantidades transportadas y por eso los números publicados frecuentemente varían, los elementos o sustancias una vez dentro de un compartimiento, tienen cierto tiempo de retención, lo que depende de sus propiedades físicas y químicas y de los procesos de salida.

Tabla 3 Tiempos (a = años) de estancia de los elementos o sustancias en los compartimentos del medio ambiente

Elemento	Compartamiento	Tiempo de retención [a= años]
N	Atmósfera	64 x 10 ⁶
O	Atmósfera	7500
N (Inorgánico)	Suelo	100
C (Materia orgánico) muerta	Tierra firme	27
C (Material orgánico) viva	Tierra firme	17
C (Como CO ₂)	Atmósfera	7.5
C (Materia Orgánica) Viva	Mar	0.1

Tabla 4 Tiempo de duración de la degradación de los distintos tipos de materiales en el medio ambiente

Imagen	Residuo/Material	Tiempo en degradarse
	Derechos 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

Los tiempos de retención de la mayoría de las sustancias en la atmósfera (con excepción de nitrógeno y de ciertos compuestos orgánicos fluorados que son químicamente muy pasivos) son la causa de la atención que se presta en las investigaciones y discusiones de problemas ambientales a la atmósfera como medio de transporte y de acumulación.

Por ejemplo, el tiempo de retención del CO₂ en la atmósfera es de más o menos 7.5 años, su concentración es muy baja (354 ppm = 354×10^{-6}). Por lo tanto, la combustión de los combustibles fósiles afecta mucho al contenido de CO₂ en la atmósfera mientras que la concentración del oxígeno (20.946 %) a pesar de su participación en los procesos de combustión prácticamente se queda invariable.

Como lo vemos en la tabla abajo, los tiempos de retención de la misma sustancia en diferentes comportamientos pueden ser también muy diferentes. Por ejemplo, el tiempo de retención del carbono en la materia viva dentro del mar es mucho más corto que en la tierra firme por que los seres vivos del mar viven en promedio menos años.

Por eso la materia viva del mar frecuentemente muestra reacciones más rápidas y sensibles a los cambios del medio ambiente.

2.4. Las reservas de los recursos naturales y de la energía

Diferenciamos entre materias primas:

- Primarias y secundaria (residuos, restos, desechos)
- Minerales y vegetales, animales y fósiles, bióticas y abióticas, reproducibles o renovables y no reproducibles o no renovables.

De gran importancia son los conocimientos de las reservas de una materia prima y compararlas con el consumo de las mismas.

Aunque continuamente aumentan los conocimientos de yacimientos, mejoran las tecnologías para el aprovechamiento de yacimientos de bajas concentraciones, la elaboración, el ahorro y el reciclaje de los materiales, nunca debemos olvidar que el potencial de nuestra tierra no es indefinido.

Las actividades humanas también tienen el carácter de transporte de material o de sustancias de un comportamiento ambiental a otro.

3 Las sustancias en el medio ambiente

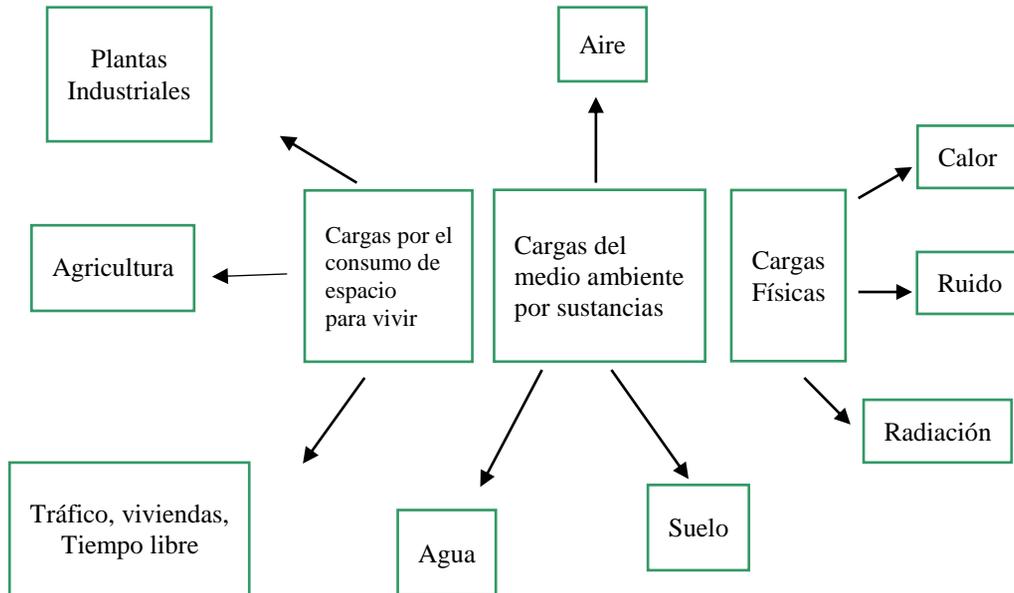
3.1 Conceptos fundamentales

Bajo el termino técnico “sustancia” queremos entender cualquier elemento o compuesto químicos puros o mezclados con propiedades características continuas.

Sustancia: es cualquier elemento o compuesto químicamente puro o mezclado con propiedades bien definidas.

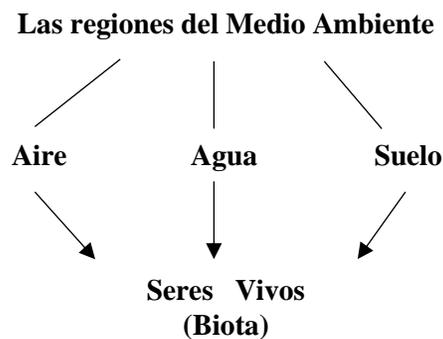
Las cargas del medio ambiente podemos subdividirla en:

- Cargas por consumo de espacio vital
- Cargas Físicas
- Cargas por sustancias

Figura 19 Cargas del medio ambiente

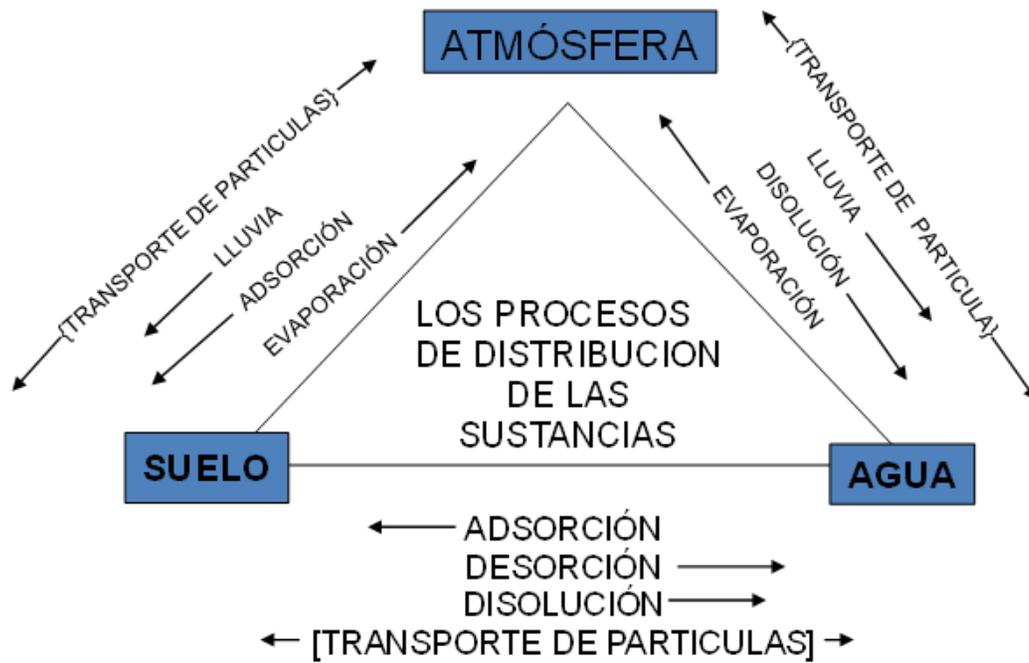
En parte hay influencias mutuas entre las diferentes cargas.

Nosotros queremos dedicarnos en primer lugar a las cargas por las sustancias. Si una sustancia tiene o no tiene influencia sobre el medio ambiente depende de su cantidad, de los caminos para entrar a los diferentes compartimientos ambientales, de las interacciones entra las sustancias y los seres vivos. Para llegar a los seres vivos las sustancias tienen que distribuirse en los medios ambientales aire, agua y suelo.

Figura 20 Regiones del medio ambiente

Los procesos de migración entre los compartimientos son: transporte de partículas (polvo, etc.), disolución, lixiviación, evaporación, lluvia, adsorción y desorción.

Figura 21 Procesos de distribución de la sustancia

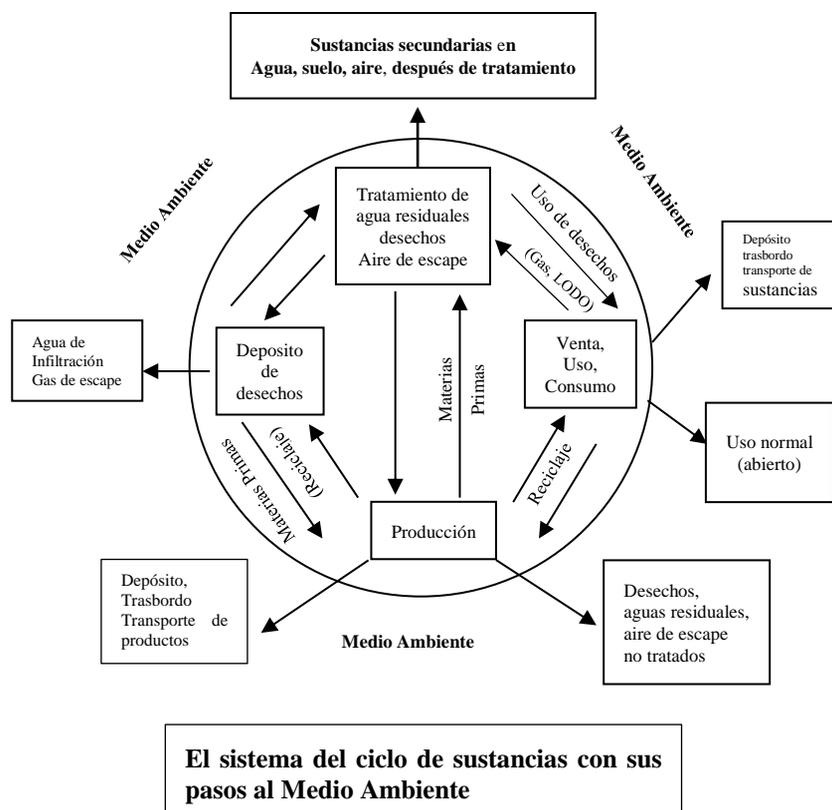


Las sustancias pueden usar diferentes caminos para entrar al medio ambiente y para su migración dentro del mismo. En el área industrial p. ej. ellas pueden salir del proceso de producción directamente hacia el aire y por las aguas residuales o indirectamente durante la eliminación de los desperdicios, accidentalmente por averías, durante el transporte y el almacenamiento, en el momento del uso (pinturas, disolventes, pesticidas, etc.).

Las cargas ambientales por las sustancias pueden diferenciarse según su distribución geográfica. Se habla de:

- Contaminaciones locales, si alcanzan más o menos una distancia de 100 km.
- Contaminaciones regionales hasta distancias más o menos de 1000 km.
- Contaminaciones globales, si se las observa en todo el mundo.

Figura 22 El sistema del ciclo de las sustancias con sus pasos hacia el Medio Ambiente



Las contaminaciones locales pueden afectar los tres medios: el aire, el agua y el suelo.

Las contaminaciones globales se observan en primer lugar en el aire y su distribución también tiene lugar por el aire.

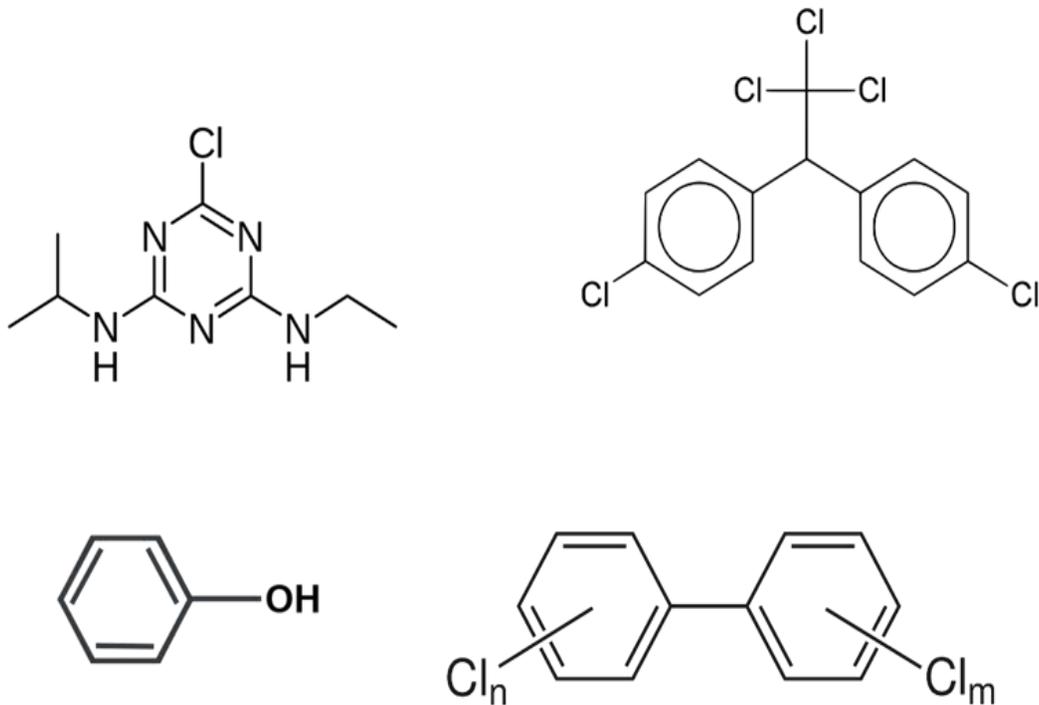
Ejemplos

Tabla 5 Tipos de contaminaciones de acuerdo con su extensión.

Comportamiento	Local (100km)	Regional (100km)	Global
Aire	Smog de ciudad	Lluvia ácida	Destrucción de capa ozono
Agua	Contaminación de aguas freáticas	Contaminación del mar en zonas costeras	
Suelo	Contaminantes inmovilizados		

En cuanto a los reactivos químicos que pueden afectar a los seres humanos y al medio ambiente, a veces se habla de reactivos problemáticos.

Figura 23 Estructuras químicas de sustancias prohibidas en Alemania



Sustancias de tal tipo: DDT, PCP (pentaclorofenol), atrazin, los hidrocarburos clorofluorados (gas freón, chlorofluorocarbons /CFC, FCKW) los bifenilos policlorados (PCB) y asbesto.

Podemos caracterizar las sustancias o preparaciones peligrosas y diferenciar entre ellas, según las siguientes propiedades:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1. Explosiva | 9. Cáustica |
| 2. Facilita incendios | 10. Irritante |
| 3. Muy inflamable | 11. Sensibilizante |
| 4. Fácilmente inflamable | 12. Cancerígena |
| 5. Inflamable | 13. Causa daños a los embriones |
| 6. Muy venenosa | 14. Cambia el patrimonio hereditario |
| 7. Venenosa | 15. Causa daños crónicos. |
| 8. Poco o venenosa | 16. Peligrosa para el medio ambiente |

Figura 24 Representación simbólica de las sustancias peligrosas al medio ambiente



Bajo el término técnico “contaminante del medio ambiente” queremos entender:

Las sustancias que llegan al medio ambiente (de manera intencionada o no intencionada) o las que se forman en el medio ambiente en primer lugar por las actividades humanas o las que se presentan en concentraciones más altas que naturalmente y que pueden poner en peligro a los seres vivos, especialmente a los seres humanos.

A veces se habla también de sustancias xenobióticas (griego: xenos= ajeno).

Según el proceso de cargamento necesitamos diferenciar entre cargamentos naturales y antropógenas.

3.2 Las propiedades físicas y químicas de las sustancias y su importancia para el medio ambiente

De las propiedades físicas y químicas de las sustancias pueden sacarse muchas informaciones en cuanto a su comportamiento en el medio ambiente. La distribución de una sustancia en el medio aire, agua, suelo y los seres vivos es determinada por magnitudes que dependen de la sustancia:

- Temperatura de fusión.
- Temperatura de ebullición
- Solubilidad en agua
- Presión de vapor (medida para la tendencia a evaporarse)
- Temperatura de solidificación
- Temperatura de sublimación
- Solubilidad en grasas

La constante de Henry que da información sobre la solubilidad (física) de un gas en agua: $c(X) = K_H p(X)$

$c(X)$ = concentración del gas X en agua en *mol/l*,

$p(X)$ = presión del vapor del gas X sobre una disolución acuosa en *bar*,

K_H = constante de HENRY.

Cuando menor es K_H , tanto más fácil sale el gas del agua.

Y por magnitudes que depende del medio (temperatura, propiedades del suelo etc.).

Conocemos p. ej. la solubilidad y la volatilidad de una sustancia de su coeficiente de distribución entre las fases diferentes, entonces podemos evaluar su tendencia a moverse de un comportamiento al otro, especialmente de no biológicos a biológicos como p. ej. del agua del tejido adiposos de un pez.

Tales conocimientos son muy importantes para evaluar la relevancia ambiental de una sustancia.

3.3 La apreciación del comportamiento de una sustancia en el medio ambiente

La mayoría de las sustancias peligrosas para el medio ambiente son productos químicos. Hace 50 años su producción mundial tenía un volumen de 1.10 t/a. Hasta hoy el volumen ha subido a 400. 10 t/a. En el mercado de la UE hay más de 100,000 sustancias químicas puras y más de 1, 000,000 de productos mezclados (preparaciones).

Sin embargo, no todos los productos y tampoco todos los de un volumen de producción grande tienen relevancia ambiental (p.ej. cemento, acero, etc.). Pero su uso inadecuado o su producción pueden causar cargas ambientales p.ej. en forma de emisiones, de polvo etc. En cuanto a la aplicación de las sustancias tenemos que diferenciar entre aplicaciones abiertas y aplicaciones cerradas.

Las aplicaciones abiertas dan mucha oportunidad para la distribución incontrolada de las sustancias. Las aplicaciones cerradas a su vez ofrecen buenas oportunidades para el uso completo o la destrucción bien calculada de estas sustancias.

La dispersión de una sustancia es su tendencia a moverse del lugar de su uso hacia otras áreas del medio ambiente. La dispersión sucede sobre todo por el transporte atmosférico, el ciclo del agua, los organismos móviles, las actividades humanas de transporte.

La dispersión es determinada por las propiedades físicas tales como: la presión de vapor, los puntos de fusión y de ebullición, la solubilidad de agua, su adsorbilidad, su tensión superficial.

Para evaluar el grado de amenaza causado por la dispersión de una sustancia su duración de vida y la velocidad de su medio de transporte son importantes.

La persistencia de una sustancia en el medio ambiente se refiere al tiempo en que ella pertenece inalterada en su composición química. La persistencia determina mucho su peligro. Las sustancias inorgánicas podemos clasificarlas como persistentes.

De mayor interés es la persistencia de los compuestos químico-orgánicos. Se consideran estas sustancias también como persistente, si sus productos de conversión no son degradables en la naturaleza.

Se habla de persistencia indeseable si la estabilidad de la sustancia es más larga que su tiempo de actividad deseada (p.ej. DDT).

La persistencia de una sustancia depende mucho de su reactividad química. Para evaluar la persistencia de una nueva sustancia puede investigarse su reactividad con reactivos (oxidantes) naturales como el radical OH, el ozono o el oxígeno.

Una medida para la persistencia de una sustancia puede ser la vida media biológica que es el tiempo necesario para disminuir la concentración de las sustancias a la mitad por la actividad de organismos biológicos.

Las sustancias persistentes (como p.ej. los hidrocarburos clorados) tienen una vida media biológica de algunos años.

Las sustancias no persistentes son desintegradas ya dentro de semanas, días u horas.

La desintegración de las sustancias en el medio ambiente puede suceder por vías químicas o biológicas.

Se habla de sustancias desintegrables si bajo la influencia de microorganismos, de luz, de humedad, de oxidantes naturales, etc., las sustancias se transforman en compuestos naturales como el agua, el metano, CO₂ y otros.

La desintegración biótica o biológica es la desintegración por enzimas en el metabolismo de (micro) organismos.

La desintegración abiótica es la desintegración química o fotoquímica:

Hidrolisis, oxidación, reacción por influencia de la luz o con productos de una Fotorreacción previa.

Se habla de mineralización si los productos de desintegración de una sustancia orgánica son solamente productos inorgánicos como: CO₂, H₂O, NH₄⁺, NO₃⁻, H₂S, PO₄³⁻.

Todo esto depende de las propiedades químicas de las sustancias, de los otros reactivos, del medio de reacción y de la forma de energía y su magnitud.

La acumulación de sustancias:

Las sustancias pueden ser acumulada en los diferentes compartimientos ambientales o en los organismos si los procesos de entrada al compartimiento o al organismo son más rápidos que los de salida o de la desintegración. Una forma especial de la acumulación de sustancias se observa con el polvo en el aire.

La concentración de las sustancias adsorbidas en las partículas de polvo por lo general es más alta que su concentración en el aire.

La bioacumulación es la acumulación de sustancias en los organismos o en algunos de sus órganos (p.ej. los metales pesados en el hígado). Este proceso depende en primer lugar del ser vivo. De gran importancia frecuentemente es el camino por el cual las sustancias entran en el organismo, p.ej. directamente del medio ambiente o con los alimentos. Especialmente dentro de una cadena alimenticia, las sustancias peligrosas pueden acumularse y de tal manera causar problemas para la especie final de las cadenas (animales de presa, peces predadores, aves de presa, ser humano).

Por ejemplo, es comprobado que la acumulación de los compuestos halogenados en el tejido adiposo de las águilas causa la esterilidad de la misma.

La dimensión de la bioacumulación se mide por el llamado factor de bioacumulación o factor de bioconcentración (inglés: Bioconcentration Factor, BCF).

$$BCF = \frac{\text{concentración de la sustancia en el ser vivo}}{\text{concentración de las sustancias en el medio (el medio ambiente o los alimentos)}}$$

Los organismos pueden acumular las sustancias nocivas para el hombre en concentraciones muy altas, como lo muestra la tabla siguiente para la acumulación de mercurio.

Tabla 6 Valores de BCF para mercurio (Hg) (en forma de sal)

Valores de BCF para mercurio (Hg) (en forma de sal)	
Seres vivos	BCF
Invertebrados del mar	100.000
Invertebrados de agua dulce	100,000
Peces de agua dulce	63,000
Peces del mar	10,000
Plantas del mar	1,000
Plantas de agua dulce	1,000
Concentración promedio de Hg en el agua de mar 0.03µg/L tiempo de retención 40,000 años.	

Tabla 7 Acumulación de bifenilos halogenados (PCB) en organismos del Mar del Norte

PCB en el mar del Norte [mg/kg]	
Agua del mar	0.000 002
Sedimento	0.01
Invertebrados	7.8
Fitoplancton	8.4
Peces	19
Aves marinas	110
Mamíferos marinos	160

El BCF mamíferos marinos/ agua de mar = 10^8

Una medida para las relaciones de la solubilidad de una sustancia en agua y en grasa es el coeficiente de distribución entre 1-octanol y agua.

$$P_{\text{oct}} = \frac{C_{1\text{-octanol}}(X) \text{ (conc.de la sustancia en 1-octanol)}}{C_{\text{agua}}(X) \text{ (conc.de la sustancia en agua)}}$$

Cuanto mayor es el valor de P_{oct} tanto más soluble es la sustancia en grasa. En este caso el BCF también es grande. En lugar de P_{oct} frecuentemente se da el $\lg P_{\text{oct}}$.

Tabla 8 Valores P_{oct} para algunos compuestos

Valores P_{oct} para algunos compuestos		
Compuestos	Formula	$\lg P_{\text{oct}}$
No polares		
Benceno	C_6H_6	2.13
Clorobencenos	C_6H_5Cl	2.84
Diclorobencenos	$C_6H_4Cl_2$	3.38- 3.39
Pentaclorofenol	C_6Cl_5OH	5.01
Hexaclorofenol	C_6Cl_6	6.18.
Polares		
Acetona	C_3H_6O	-0.24
Ácido Acético	$H_3C-C-OOH$	-0.31
Etolanol	C_2H_5OH	-0.32

Las sustancias nocivas pueden causar daños directos e indirectos.

Los primeros son: Sus efectos tóxicos, cáusticos, mutágenos (cambio de la información hereditaria), teratógenos (causa malformaciones congénitas) y cancerígenos.

Los segundos son p.ej. cambios del pH del suelo y de esta manera la extracción de iones metálicos importantes para las plantas.

Las acciones nocivas pueden ser:

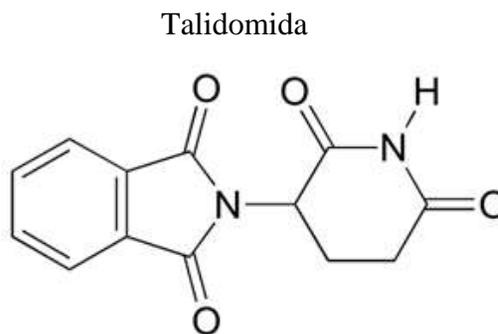
- Agudas (poco después de una sola toma),
- Subcrónicas (después de 90 días),
- Crónicas (después de tomas repetitivas en cantidades pequeñas y después de largo tiempo).

Las acciones de las diferentes sustancias nocivas pueden sumarse o potenciarse. En el último caso se habla de sinergismo.

Las respuestas de los diferentes organismos a las sustancias nocivas pueden ser muy diferentes. La figura siguiente nos da un ejemplo.

Tabla 9 Dosis mínima activa por día, estructura química de talidomida

Dosis mínima activa por día	
Humano	1 mg/kg
Mono	10 mg/kg
Perro	31 mg/kg
Ratón	100 mg/kg
Hámster	350 mg/kg



Este hecho es uno de los argumentos más fuertes contra los experimentos contra los animales. Las acciones nocivas de las sustancias sobre los seres humanos todavía son poco investigadas. Es concebible que algunas sustancias puedan causar daños tardíos, aunque se consideren hoy día como sustancias sin objeción.

3.4 La protección del medio ambiente

Bajo el término “Protección del MEDIO AMBIENTE” queremos entender el conjunto de todas las medidas que hay que tomar y que se toman o de manera preventiva o para restablecer las condiciones normales de algún daño que ha sufrido el medio ambiente. Especialmente las medidas para ahorrar recursos y reducir el consumo de energía forman parte de este conjunto.

La protección del medio ambiente toca tanto el comportamiento y las costumbres de cada uno de los seres humanos en su vida privada como los sectores industriales y estatales. En el sector industrial podemos diferenciar entre la protección ambiental referida a la producción y la protección ambiental referida a los productos.

Las medidas en la producción pueden ser:

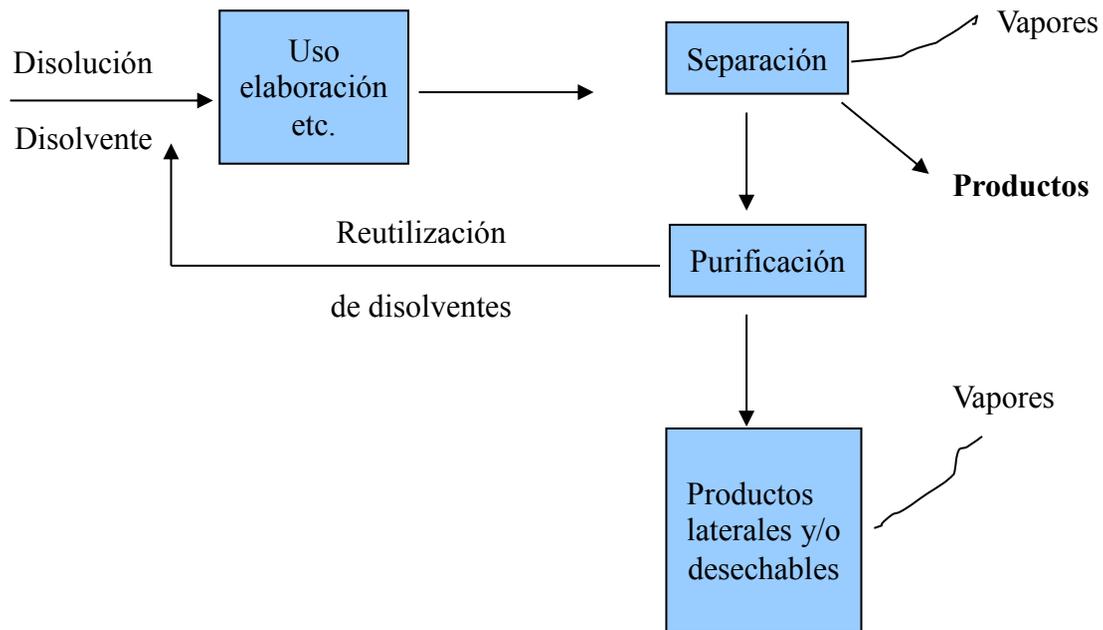
- Usar técnicas o tecnologías favorables para el medio ambiente,

Lo que significa:

- Reducir el volumen de las emisiones de gases, el volumen y la carga de las aguas residuales, el volumen de los desechos;
- Aprovechamiento de los desperdicios y buscar posibilidades de utilización de los desechos para otro fin;
- Cambiar los procesos para que todo tipo de materias primas, subproductos, productos y desechos sean menos peligrosos para el medio ambiente.
- Ahorrar recursos y energía (reciclaje).

- Reducir las emisiones de ruido, de todo tipo de radiación y las vibraciones.

Figura 25 Reutilización de disolventes



Proceso cerrado o parcialmente cerrado (vapores)

Tabla 10 Procesos de minerales y disminución de emisiones de polvo

Para generar 1t de metal se necesitan	
Procesar.....t de minerales	
Oro (Au)	350,000
Plata (Ag)	7,000
Cobre (Cu)	420
Cinc (Zn)	27
Plomo (Pb)	19
Hierro (Fe)	6

Lograr todo esto es posible por:

- Pretratamiento de las materias primas (p.ej. quitar el azufre del petróleo);
- Optimizar el proceso de producción;
- Cambiar el proceso de producción.

Existen diferenciación entre la protección ambiental integrada en el proceso de producción y la protección ambiental aditiva (End-of-pipe-técnica) = todo tipo de técnica para purificar los gases de escape, aguas residuales y desechos.

La ventaja de estas medidas aditivas o secundarias es que fácilmente pueden agregarse a los procesos ya existentes.

Su gran desventaja es que los problemas solamente son trasladados al tratamiento especial de los lodos de las plantas de tratamiento de agua o de los polvos de filtro.

Las medidas relacionadas con los productos pueden ser:

- Productos de largo tiempo de vida (para disminuir la necesidad de producirlos en grandes cantidades y tirarlos dentro de poco tiempo, aumentando de tal manera, la cantidad de basuras);
- Productos no o pocos contaminantes;

- Productos fácilmente degradables en la naturaleza (biodegradables, degradables por procesos químicos y fotoquímicos formando productos de reacción todavía menos peligrosos);
- Productos reutilizables y reciclables.

Por principio cada producto, cada sustancia –aunque tenga la etiqueta: favorable para el medio ambiente –

Causa o puede causar daños en el medio ambiente.

La única diferencia entre ellos es que uno causa daños más graves y los otros daños menores.

Entonces la indicación “favorable” solo es relativa.

En Europa, EEUU y Canadá las empresas ya hacen muchas inversiones para mejorarla protección del medio ambiente, cambiando los procesos de producción o mejorando los productos. Esto es causado por la presión de la opinión pública y no en último lugar por la exigencia de las leyes que ya hay en estos países.

Evitar los daños del medio ambiente y mucho más restablecer el estado sano del medio ambiente cuesta trabajo y mucho dinero. Para resolver los problemas y en dependencia del caso concreto hay diferentes principios que pueden aplicarse:

El principio de previsión (inglés= principle of providence), frecuentemente ya establecido en las leyes correspondientes.

El principio del responsable de la contaminación (inglés= principle of the originator, polluter-must-pay-principle):

El que causa la contaminación o el peligro tiene que pagar.

El principio de carga común (inglés= principle of common burden):

El estado paga, si no hay un responsable concreto para la causa de un peligro o de un daño.

El principio de cooperación (inglés= principle of cooperation):

La meta de este principio es no dejar la resolución de problemas ambientales únicamente como tarea del estado sino buscar por cooperaciones entre el estado y los diferentes organismos de toda la sociedad.

3.5 Ecobalance y la auditoria ecológica

Ya desde hace tiempo existen intenciones de comparar los productos o proceso de producción en cuanto a sus influencias sobre el medio ambiente.

Por ejemplo:

¿Cuáles son más favorables para el medio ambiente? La bolsa de papel o las de plástico, las botellas no retornables o las retornables.

Una evaluación de tal tipo se llama ecobalance (en inglés: environmental balance sheet o Life Cycle Assesment, LCA), lo que significa hacer la comparación más completa posible entre dos ovarios productos, grupos de productos, procesos, etc., en cuanto a sus influencias sobre el medio ambiente.

De esta manera es posible:

- Encontrar posibilidades para mejorar los procesos de producción.
- Mejorar las propiedades de los productos en cuanto a sus influencias ambientales.

- Comprarlas materias primas óptimas.
- Comprar diferentes comportamientos, etc.

La auditoría ecológica tiene como objetivo la evaluación de una empresa en cuanto a su comportamiento ecológico.

Los especialistas externos controlan si la empresa cumple las leyes ambientales y desarrollan un programa concreto para las metas de protección del medio ambiente. Las ventajas para la empresa son, por un lado, encontrar también posibilidades para mejorar los procesos de producción y encontrar causa para las enfermedades que causan bajas del personal y por otro lado, y no en último lugar, lograr posibilidades para utilizar los resultados en actividades de publicidad y de tal manera mejorar su posición frente a otros competidores.

3.6 Los valores MAK, TRK, BAT y MIK

En Europa y especialmente en Alemania las leyes obligan a las empresas a cumplir ciertas normas para la protección de los trabajadores durante el proceso de trabajo y para la protección del medio ambiente.

Los valores MAK se refieren a la contaminación del aire en el lugar de trabajo y fijan las concentraciones máximas de los contaminantes en mg /m³ todavía tolerables para no causar daños a los trabajadores. Se trata de valores límite y se refiere a una jornada de 8 horas por días y 40 horas por semana.

Los valores TRK también se refieren a la contaminación del aire en los lugares de trabajo. Se trata de valores de concentración menor de contaminantes que puedan alcanzarse aprovechando las posibilidades de la técnica más moderna.

Los valores BAT son concentraciones límite de contaminantes en el cuerpo de los trabajadores que todavía no causan problemas de salud. Se refiere también a una jornada de 8 horas por día o 40 horas por semana.

Los valores MIK son las concentraciones límite de las inmisiones que todavía no causan daños a la biosfera. La inmisión es el proceso de la entrega de contaminantes de la atmosfera a la biosfera. Estos valores MIK son valores indicativos.

Capítulo II. Los procesos en el aire

1. La atmosfera

1.1 Advertencias

Los cambios dentro de la atmósfera son de mayor importancia que aquellos en los compartimientos agua o suelo porque:

- La atmósfera es el compartimiento más importante para el transporte de los contaminantes (gases, vapores, polvo).
- La masa total de la atmósfera es mucho más pequeña que la de los otros compartimientos. Por eso sus reacciones, inclusive por influencia de pequeñas cantidades de sustancias, son mucho más sensibles.
- Los cambios de la composición de la atmósfera causados por los contaminantes pasan en lapsos de tiempos cortos.

La sensibilidad de la atmósfera la muestra p.ej. el cambio de su contenido de cloro (causado por el uso de sus compuestos orgánicos clorados) que dentro de los últimos 40 años aumento el 600%, o el contenido de CO₂ que aumentó dentro del mismo período del 25%.

La atmosfera es un sistema muy dinámico. Sus componentes gaseosos siempre están en interacción mutua. Las sustancias dentro de la atmósfera siempre se forman y se descomponen. La atmósfera es el reactor químico más grande de nuestra tierra. Muchas de las reacciones que ocurren en una atmosfera contaminada son muy complejas, a veces imprevisibles y varias todavía no esclarecidas indudablemente.

El intercambio de las sustancias entre la atmósfera y los otros compartimientos del medio ambiente también es muy rápido. Pero hasta la actualidad todavía falta claridad absoluta en cuanto a la influencia de los océanos sobre la composición de la atmósfera. Las influencias de las erupciones volcánicas sobre los procesos químicos en la estratosfera se empiezan a entender más a detalle apenas en los últimos años.

1.2 La composición y las propiedades de la atmósfera

El aire nunca es limpio o puro en el sentido de que consista únicamente de nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y los gases nobles. Ya antes de la existencia de los seres humanos había los componentes de la atmósfera que hoy denominamos contaminantes. Tales contaminantes “naturales” tienen su origen en los procesos volcánicos, incendios de bosques, plantas animales y hasta microorganismos. La tabla siguiente nos muestra la composición de la atmosfera actual:

Tabla 11 Composición de la atmósfera seca cerca de la superficie terrestre

Componente	Formula	Fracción Volumétrica
Nitrogeno	N ₂	78.084%
Oxigeno	O ₂	20.946%
Argón	Ar	0.934
Dióxido de Carbono	CO ₂	354 ppm
Neón	Ne	18.18 ppm
Helio	He	5.24 ppm
Metano	CH ₄	1.7-1.8 ppm
Cripton	Kr	1.14 ppm
Hidrogeno	H ₂	0.5 ppm
Oxido de Dinitrogeno	N ₂ O	0.3 ppm
Xenon	Xe	87 ppb
Monoxido de Carbono ¹⁾	CO	30-250 ppb
Ozono ¹⁾	O ₃	10-100 ppb
Dioxido de Nitrogeno ¹⁾	NO ₂	10-100 ppb
Monoxido de Nitrogeno ¹⁾	NO	5-100 ppb
Dióxido de Azufre ¹⁾	SO ₂	<1-5 ppb
Amoniaco ¹⁾	NH ₄	18.18ppb
Formaldehido	HCHO	0.1-1 ppb

Clorometano	CH ₃ Cl	620 ppt
Diclorodifluorometano (R12)	CF ₂ Cl ₂	480 ppt
Sulfuro de Carboxilo	COS	400-600 ppt
Triclorofluorometano (R11)	CFCl ₃	280 ppt
Metilcloroformo	CH ₃ CCl ₃	130 ppt

La composición de la atmósfera no siempre es constante ni en todos los lugares es igual.

Esto puede depender de muchos factores: de la altura, de la latitud, del tiempo de día, de la región.

En dependencias de la calidad de aire se diferencia usualmente entre las regiones (muy) cargadas que son los conglomerados urbanos con las fuentes de contaminación principal (la industria y las ciudades grandes), las regiones sin cargas que son por lo general las áreas rurales, suficientemente lejos de las fuentes principales y las regiones de aire limpio que están suficientemente lejos de cualquier actividad humana.

La composición de la atmósfera en cuanto a los gases traza y el polvo varía mucho en dependencias de la región.

Tabla 12 Contenido de algunas sustancias traza en la atmosfera en zonas rurales y urbanas

El contenido de algunas sustancias traza en la atmósfera de las zonas rurales y urbanas		
Contaminante	Zona rural	Zona urbana
SO ₂	0.001...0.1	0.02...0.2
NO ₂	0.001...0.01	0.01...0.1
Hidrocarburos	<1	1...20
CO	<1	5...200
Polvo	0.01...0.02mg/m ³	0.07...0.7 mg/m ³

Los valores más altos de las zonas urbanas son causados en primer lugar por el tráfico, la generación de energía y la industria.

Tabla 13 Fuentes de las emisiones antropógenas (Alemania 1999)

Fuentes	Polvo	SO ₂	NO _x	Compuestos Orgánicos volátiles	CO ₂
Centrales eléctricas y de Calefacción a distancia	5.1	34.3	12.5	0.5	0.6
Calefacciones industriales	4.0	33.5	9.1	0.9	8.9
Procesos Industriales	27.8	9.6	0.6	4.4	7.4
Pequeñas Industrias	1.3	5.4	1.4	0.4	1.4
Casas	5.3	8.8	2.8	2.2	7.1
Trafico	16.9	8.4	73.1	50.4	74.8
Trasbordo de cargas a granel	39.6	-	-	-	-
Uso de disolventes	-	-	-	39.6	-
Emisión Total [10 ⁶ t/a]	0.45	0.94	2.60	2.55	8.20 !

Muchas sustancias nocivas son de origen natural mientras que otras surgen, sobre todo, de las actividades humanas. La tabla siguiente nos da una idea de los orígenes de las emisiones de algunos contaminantes importantes. También vemos las relaciones A/N (emisión antropógena / emisión natural) y C/L (fracción volumétrica del contaminante en el aire contaminado / fracción volumétrica del contaminante en el aire limpio).

Tabla 14 Emisiones globales de algunos gases traza

Gas	Emision natural N [10 ⁶ t/a]	Global Antropogena A [10 ⁶ t/a]	Relación A/N	Fraccion aire limpio L [ppm]	Volumetrica aire Contaminado C [ppm]	Relación C/L
CO ₂	600,000	22000	0.037	320	400	1.25
CO	920	1490	1.62	0.1	60	600!
CH ₄	1,600	50	0.031	1.5	2.5	1.7!
Otros Hidrocarburos	2,600	90	0.035	0.1	10	100!
NO _x	770	53	0.07	0.001	0.2	200!
SO ₂	155	200	0.2	0.0002	0.2	1000!

No es importante la cantidad sino la forma como influye en los equilibrios naturales. Muchas cantidades de estas sustancias, aunque son pequeñas influyen en el equilibrio.

Los coeficientes C/L muestran que algunas de las emisiones antropógenas influyen mucho sobre la calidad de aire, aunque la cantidad absoluta de la emisión no es grande (SO₂, CO, NO_x, hidrocarburos no metánicos). De esta manera ya tenemos una primera impresión de la complejidad que existe entre la cantidad emitida y el contenido de una sustancia en la atmósfera, o sea de las alteraciones o perturbaciones de los equilibrios naturales causados por las emisiones antropógenas adicionales.

Algunas sustancias trazas se hallan en concentraciones bajas en todas partes de nuestro globo. Este tipo de sustancias se llaman sustancias ubicuas u omnipresentes.

La tabla siguiente muestra la concentración de fondo (= concentración en las áreas con aire limpio) para algunas sustancias importantes:

Tabla 15 Concentraciones de fondo de algunas sustancias ubicuas

Sustancia Traza		Concentración de fondo [ng/m ³ = 10 ⁻⁹ m g / m ³ = 10 ⁻⁹ g / m ³]
Diclorodifluorometano (R12)	CF ₂ Cl ₂	1,670
Clorometano	CH ₃ Cl	1,350
Triclorofluorometano (R11)	CFCl ₃	1,300
Sulfuro de Carbonilo	COS	1,300
Tetracloruro de Carbono	CCl ₄	850
1,1,1-Tricloroetano	CCl ₃ -CH ₃	760
Percloroetano	C ₂ Cl ₆	660
Formaldehído	HCHO	500
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂	170
Cloroformo	CHCl ₃	100
Tricloroetano	CCl ₂ =CHCl	90
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	1.5
Di-(2-Etilhexil) – ftalato	1)	1...3
α- Hexaclorociclohexano	2)	0.3...0.15
Bifenilos Policlorados (PCB)	3)	0.1...1.0
Hexaclorobenceno	4)	0.1...0.15
Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	5)	0.05...0.5
β - Hexaclorociclohexano	6)	0.02...0.1

Una cantidad alrededor de 50 000 t/a de una sustancia es suficiente para que ella pueda ser ubicua, si su distribución puede pasar por el aire. En cuanto a su origen hay dos posibilidades:

- O la sustancia salió de una (s) fuente (s) en cantidades suficientemente grandes.
- O la sustancia se formó en cantidades suficientemente grandes a partir de otras sustancias.

Por lo general las sustancias ubicuas son sustancias fuertemente persistentes. Su descomposición en la atmosfera es lenta y su solubilidad en agua es pequeña.

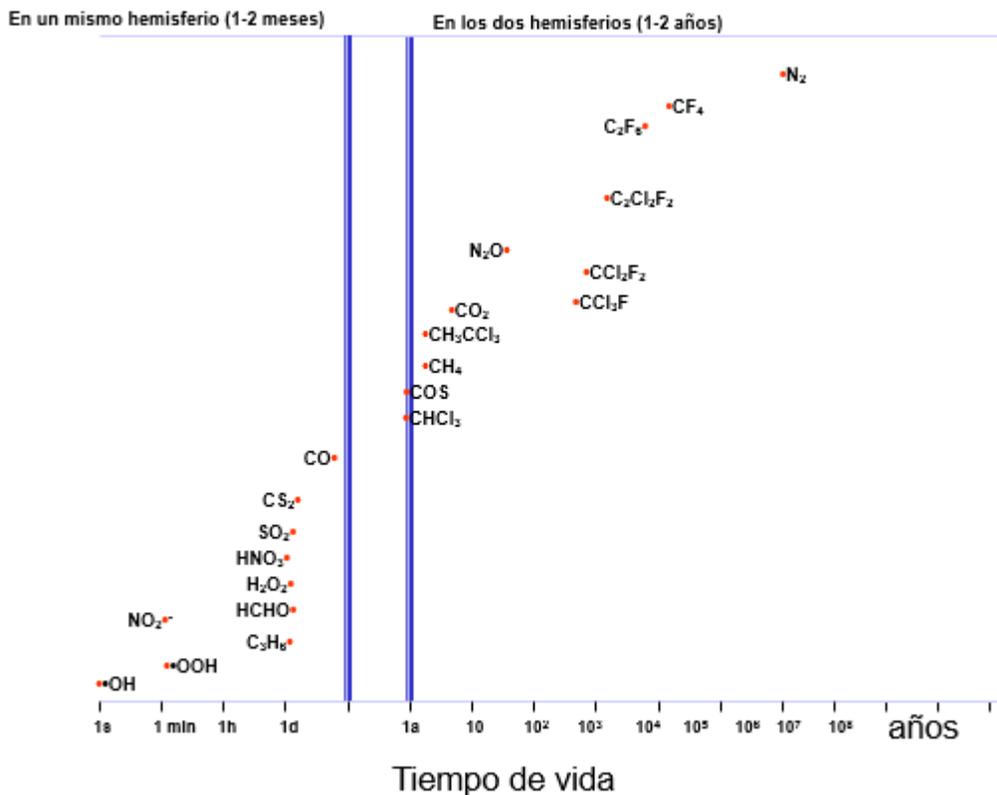
La mayoría de estas sustancias son xenobióticas, es decir ellas son compuestos químico – orgánicos de origen no natural, o bien sustancias extrañas en la naturaleza como p. ej. los ésteres del ácido ftálico, los cuales se usan como plastificantes y ablandadores de plásticos, o los compuestos organoclorados.

Para la distribución homogénea en la atmósfera dentro de una región, las sustancias necesitan cierto tiempo para entremezclarse con el aire. Una sustancia traza que sufre reacciones de degradación muy lentas o que es una sustancia químicamente estable necesita entre uno y dos meses para su distribución homogénea en un hemisferio de la tierra. Para su distribución homogénea interhemisférica, dos o tres años son necesarios.

La causa es que existe una zona de convergencia que se encuentra cerca del ecuador alrededor de la tierra, en la cual hay fuertes turbulencias verticales que sirven para mezclar los gases verticalmente y actúan como una barrera para los procesos de intercambio horizontal entre los dos hemisferios.

Es obvio que también el tiempo de vida de una sustancia influye sobre la posibilidad de su distribución intra- o interhemisférica. El esquema siguiente nos da una idea de esta conexión para algunos gases o sustancias traza importantes.

Figura 26 Tiempo de vida de algunas sustancias en la atmósfera



Vemos que hay gases traza con un tiempo de vida de pocos segundos como p. ej. Los radicales OH· y otros que existen miles de años son cambios químicos como p. ej. Los compuestos orgánicos perfluorados.

Para describir y compara los tiempos de existencia de las sustancias dentro de algún medio se puede usar o la vida media (*engl*: half-life, $t_{1/2}$) o el tiempo de vida natural (*engl*: natural lifetime, t o τ).

La vida media es el tiempo que necesita una sustancia en una reacción química para disminuir su concentración a la mitad del valor inicial.

El tiempo de vida natural es el tiempo que necesita una sustancia para disminuir su concentración a un valor c/e (c = concentración inicial, $e= 2.718$).

Los valores $t_{1/2}$ y τ dependen directamente de la constante de velocidad de una reacción k_i

Y los dos dependen además de la concentración de los otros participantes de la reacción si el orden de reacción es mayor que 1.

Tabla 16 Ecuación para el cálculo de tiempo de vida media

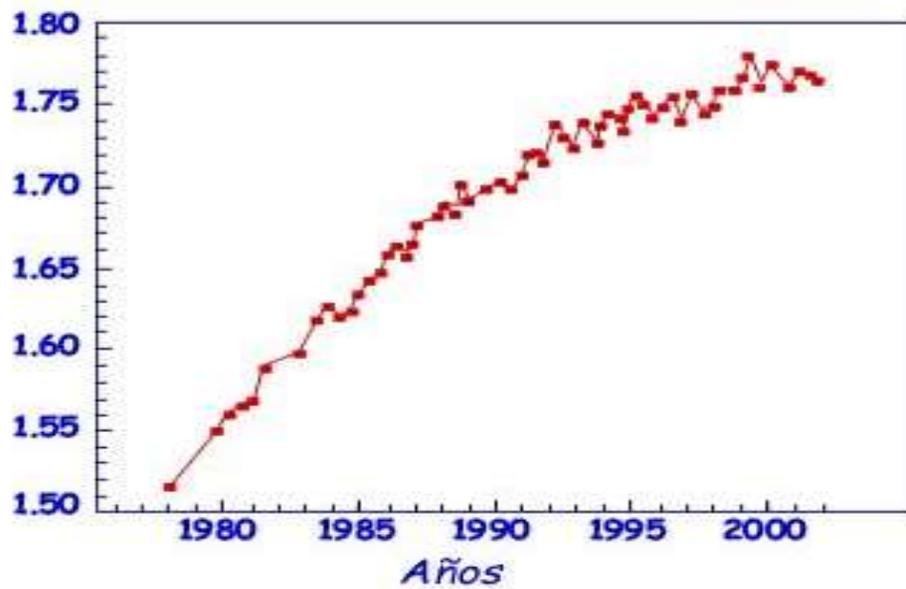
Reacción	Orden	Vida media	Tiempo de vida
$A \xrightarrow{K_1} P$	1	$t_{1/2} = \ln 2 / k_1$	$T = 1 / k_1$
$A + B \xrightarrow{K_2} P$	2	$t_{1/2} = \ln 2 / k_2 \cdot C_B$	$T = 1 / k_2 \cdot C_B$

K = Constante de velocidad de la reacción
 C_B = Concentración del compuesto B [mol/l]
 Vida media= tiempo que pasa para que la sustancia llegue a la mitad su concentración

Para los compuestos químico-orgánicos el tiempo de vida, en la mayoría de los casos, se refiere a su reacción con los radicales $\text{OH}\cdot$, las partículas más reactivas en la atmósfera.

Vemos que el tiempo de vida, el tiempo para entremezclarse y la distribución de los contaminantes están conectados mutuamente. Esta relación se muestra por las curvas de distribución global para el metano ($\tau = 4$) y para el monóxido de carbono ($\tau = 65$ d):

Figura 27 Contenido medio del CO en la atmósfera en dependencia de la latitud (=1980)



Concentración global estacional (en ppm) de metano desde enero de 1978 hasta junio de 2001.

La concentración de las sustancias con tiempos de vida entre algunas horas y pocos días es determinada exclusivamente por los efectos locales: las fuentes, los mecanismos de degradación y las condiciones meteorológicas. En estos casos las concentraciones varían considerablemente en dependencia del tiempo y del lugar.

Los gases que entran al medio ambiente queremos designar como gases fuente. Ellos pueden ser gases, poco o de ningún modo, reactivos en la troposfera, pero pueden generar en la atmósfera alta, bajo la influencia de la luz ultravioleta o por reacción con otras moléculas fotoquímicamente activadas, nuevos compuestos reactivos. En otras palabras, ellos pueden ser fuente para sustancias peligrosas. Tenemos que diferenciar entre los gases fuente de origen natural, como p. ej. el N_2O o el CH_4 , y los gases fuente de origen antropógeno, como p.ej. los hidrocarburos clorofluorados.

La tabla siguiente nos da algunos ejemplos de gases fuente y sus productos de reacción, formados en la estratosfera:

Figura 28 Fuente de gases y productos de reacción en la atmósfera

FUENTE DE GASES Y SUS PRODUCTOS DE REACCIÓN
EN LA ESTRATOSFERA

GAS (FUENTE)	REACTIVO	PRODUCTO
N_2O	O^*	NO
H_2O	O	$\cdot\text{OH}$
CH_4	$\cdot\text{O}^*\text{H}$	CO
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;"> $\left. \begin{array}{l} \text{CHCl}_3, \text{CH}_3\text{CCl}_3, \\ \text{Hidrocarburos} \\ \text{fluoroclorados} \end{array} \right\}$ Sustancias no peligrosas </div> <div style="text-align: center;"> $\xrightarrow{h\nu}$ </div> <div style="text-align: center;"> $\cdot\text{Cl}, \text{CLO}\cdot$ Sustancias más peligrosas </div> </div>		

* Estado excitado

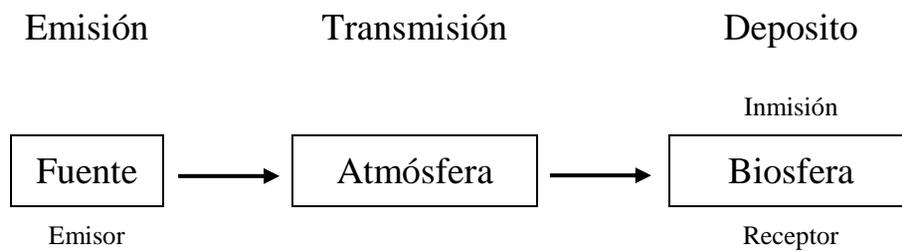
Podemos describir el transporte de los contaminantes del aire con tres elementos fundamentales:

- La fuente
- La atmosfera
- El receptor (la biosfera)

Los procesos que tiene lugar son:

- La emisión
- La transmisión
- La deposición (la inmisión)

Figura 29 Fuente de emisiones y dinámica de los contaminantes



Las fuentes de emisión pueden ser:

Las plantas, los volcanes, los escapes de los carros, las chimeneas, etc.

La transmisión son todos los procesos que sirven para cambiar la posición y la distribución de los contaminantes. A veces, en lugar de transmisión se usan también los términos técnicos transferencia y difusión.

Con la deposición o, desde el punto de vista del receptor la inmisión, los contaminantes han llegado a otro compartimiento del medio ambiente.

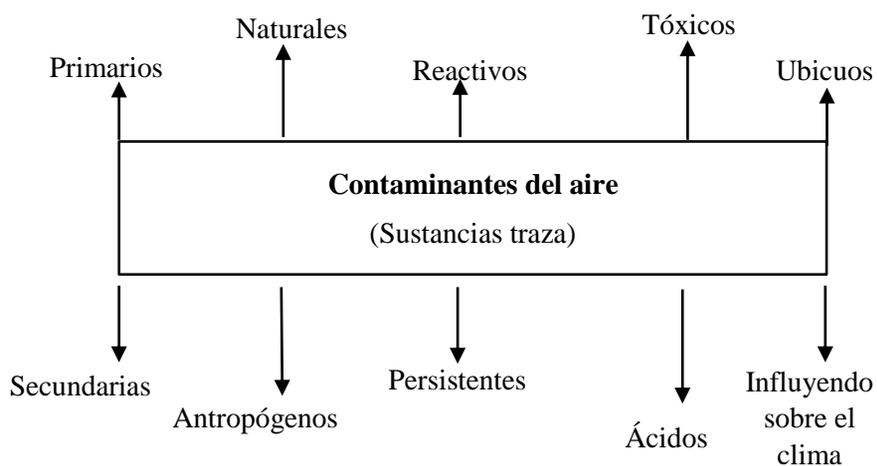
La deposición es posible en todas las áreas de la biosfera:

En el suelo, en el agua, sobre las plantas o la piel de los animales y seres humanos, por la respiración directamente en el interior de los organismos vivos.

El efecto final de los contaminantes afecta n primer lugar a los seres vivos incluyendo los humanos.

Existen diferentes puntos de vista para diferenciar entre los contaminantes del aire o las sustancias traza:

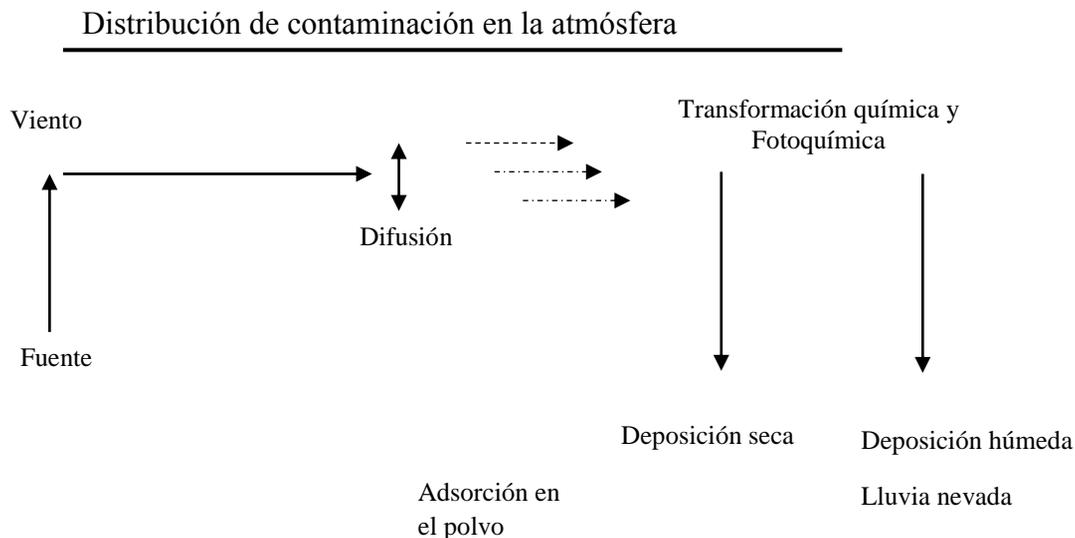
Figura 30 Contaminantes del aire



Los contaminantes primarios son los que salen directamente de una fuente, como p.ej. el SO_2 o el NO_2 ; los secundarios son los productos de reacción que se formaron durante el tiempo de la transmisión, como p.ej. el O_3 , el NH_3 , el H_2SO_4 .

A parte de sufrir alguna reacción química, los contaminantes primarios y también los secundarios pueden ser afectados por otros procesos. Ellos pueden difundirse en otras capas de la atmósfera o pueden depositarse sobre partículas de polvo o gotitas de agua formando de tal manera los aerosoles. Para llegar a la superficie terrestre existen las posibilidades de la deposición seca o- con la lluvia y la nieve – de la deposición húmeda.

Figura 31 Distribución de contaminantes en la atmósfera



Resumiendo, podemos decir que la deposición de algún contaminante está influida por muchos factores:

Su tiempo de vida diario;

La altura de su alimentación al aire (altura de emisión), porque las velocidades del viento dentro de diferentes capas de la atmósfera difieren; las condiciones meteorológicas;

El tamaño de las partículas y con esto su movilidad; las propiedades de la superficie del lugar de deposición.

Teniendo en cuenta todas estas condiciones e influencias es posible para los países - y se hace p. ej. en Europa – calcular balances de exportación/ importación de los contaminantes. De tal modo se calculó para el año 1989 que p.ej. sobre el territorio de Alemania Federal (la parte occidental antes de la reunificación) se depositaron $170 \cdot 10^3$ t de azufre en forma de SO_2 de origen alemán y además $544 \cdot 10^3$ t de azufre “importado”, lo que corresponde a una cantidad de $2.2 \text{ t / km}^2 \text{ a}$.

Especialmente las emisiones de SO_2 originada de las regiones muy lejanas son – y esto ya es científicamente comprobado – la causa para la acidificación del agua de los ríos y lagos en Canadá y Escandinavia.

Ya mencionamos que algunos contaminantes tienen su origen en fuentes naturales.

Las más importantes son los volcanes los cuales pueden entregar a la atmósfera cantidades enormes de polvo y de gases y de tal manera cambiar drásticamente su composición a veces hasta las alturas de la estratosfera.

Por ejemplo, calcularon los vulcanólogos que el volcán El Chichonal durante su erupción, el 29 de marzo de 1989, arrojó a la atmósfera una cantidad de $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de ceniza, de trozos de piedra pómez y de polvo. Además, salieron 40 000 t de cloruro de hidrógeno a la estratosfera, lo que causó dentro de pocos días, un aumento de la concentración normal del HCl del 40%.

El volcán Kilauea en la isla de Hawái estuvo activo entre 1956 y 1983 sin erupciones grandes. No obstante, salieron durante este tiempo $7.6 \cdot 10^6 \text{ t}$ de azufre en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S), $2.2 \cdot 10^6 \text{ t}$ de SO_2 , $0.5 \cdot 10^6 \text{ t}$ de HCl, $2.2 \cdot 10^6 \text{ t}$ de fluoruro de hidrógeno (HF) y diariamente más o menos 800kg de mercurio (Hg).

Las mediciones de los vulcanólogos que también algunos compuestos químico- orgánicos pueden salir de los volcanes, tales como: metano, benceno, tolueno y otros hidrocarburos, aldehídos, cetonas, alcoholes e hidrocarburos clorados y fluorados.

Otro tipo de fuentes naturales pueden ser los fenómenos meteorológicos:

- En los relámpagos, por reacciones electroquímicas, se forma óxido de nitrógeno.
- Las tormentas en los desiertos transportan cantidades enormes de polvo a lo largo de distancias y alturas grandes. De tal manera a veces llega polvo del Sáhara hasta Europa Central y causa allí lluvias coloridas.

También los animales y plantas son fuentes naturales de contaminantes. Ellos producen metano, dióxido de carbono y – especialmente las plantas – hidrocarburos del tipo terpeno. Se estima que anualmente 500 millones toneladas de metano de origen animal y microbiológico y la misma cantidad de hidrocarburos terpénicos, sus derivados ($\text{C}_{10}\text{H}_x\text{O}_y$) e isopreno [$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$] de origen vegetal, salen a la atmósfera.

¿Qué pasa con todos estos contaminantes?

A lo largo de millones de años en la naturaleza se establecieron diferentes equilibrios, muchas veces muy sensibles, entre los procesos de emisión y otros procesos que sirven para disminuir las concentraciones de los contaminantes.

Un compartimiento en que tienen lugar los procesos de agotamiento de los contaminantes se denomina sumidero del contaminante.

Los procesos de agotamiento pueden ser:

- La adsorción (p.ej. de los gases y líquidos por el polvo),
- La absorción (p.ej. de CO_2 en agua),
- La sedimentación (p.ej. de compuestos de los metales pesados y lodos contaminados en el agua),
- La degradación biológica (p.ej. de CO_2 y H_2S por las plantas),
- Las reacciones químicas y fotoquímicas (p.ej. la transformación de los hidrocarburos fluoroclorados en CO_2 , CH y HF).

Los procesos más eficaces para descontaminar la atmósfera son los procesos que transforman los contaminantes en productos solubles en agua.

De tal manera las precipitaciones (lluvia y nieve) sirven muy efectivamente para limpiar la troposfera y transportar los contaminantes a los compartimientos agua y suelo.

En la tabla siguiente vemos los contaminantes del aire más importantes y sus fuentes naturales o antropógenas principales:

Tabla 17 Contaminantes de la troposfera y sus fuentes

Compuesto	Fuente Natural	Fuente Antropógena
Compuestos de C CO	Oxidación de CH ₄ y de hidrocarburos naturales: océano, incendios forestales	Oxidación de hidrocarburos: Combustiones incompletas de todos Los combustibles; automóviles.
CO ₂	Oxidación de CO _{natural} incendios forestales, respiración de plantas y animales	Combustión de combustibles calcinación
CH ₄	Metabolismo de animales (rumiantes); gas de los pantanos, Tierras muy húmedas, océanos.	Metabolismo de animales domésticos, arrozales, fugas de gas natural, gas de pantanos
Hidrocarburos C ₂ - C ₆	Fuentes naturales aeróbicas	Fugas de gas natural, automóviles refinerías
Olefinas C ₂ - C ₆		Gas de escape de los automóviles y de motos diesel
Hidrocarburos aromáticos		Gas de escape de los automóviles, pinturas, gasolina y disolventes evaporados
Hemiterpenos (C ₅ H ₈) Terpenos (C ₁₀ H ₁₆) Diterpenos (C ₂₀ H ₃₂)	Árboles y otras plantas; flores	
Compuesto	Fuente Natural	Fuente Antropógena
Compuestos de N NO	Incendios forestales, relámpagos, procesos anaeróbicos	Combustión de petróleo, gas y carbón
NO ₂	Incendios forestales, relámpagos,	Combustión de petróleo, gas y carbón, transformación de NO en la atmósfera
N ₂ O	Desnitrificación por bacterias en el suelo; océanos	Combustión de petróleo y carbón
Nitrato de Peroxiacetilo (PAN)	Degradación de isopreno	Degradación de hidrocarburos
NH ₃	Procesos microbiológicos aeróbicos en el suelo, degradación de proteínas	Combustión de petróleo, carbón, Tratamiento de desechos
Compuestos de S SO ₂	Oxidación de H ₂ S volcanes	Combustión de petróleo y carbón tostación de minerales sulfurados
H ₂ S	Fermentación anaeróbicos, volcanes, fuentes de vapor y aguas sulfurosas	Refinación de petróleo, estiércol, producción de papel kraft
CS ₂	Fermentaciones anaeróbicas	Producción de fibra viscosa, fabricación de ladrillos, Fabricación de harina de pescado
COS	Oxidación de CS ₂ devastación de bosques y selvas por medio de incendios, volcanes, fuente de vapor	Oxidación de CS ₂ , fabricación de ladrillos, aguas negras de fábricas de papel.
Compuestos de S SO ₃	Fuente Natural Oxidación de SO ₂	Fuente antropógena Combustión de combustibles con S
Metilmercaptano CH ₃ SH	Fuentes biológicas anaeróbicas	Procesamiento de cadáveres de animales, estiércol, producción de papel, de ladrillos y refinerías de petróleo.
Sulfuro de dimetilo CH ₃ -S-CH ₃	Descomposición biológica	Procesamiento de cadáveres de animales, producción de papel
Disulfuro de metilo		Procesamiento de cadáveres, producción de harina de pescado
Disulfuros de alquilo, trisulfuro de dimetilo, alquiltiofenos, benzotiofenos	Fuentes biológicas anaeróbicas	Procesamiento de cadáveres de animales, estiércol, producción de ladrillos y producción de harina de pescado
Compuestos de Cl HCl	Volcanes y fuentes de vapor; degradación de CH ₃ Cl	Combustión de carbón; degradación de hidrocarburos clorados.
Cloruro de metilo [CH ₃ Cl]	Combustión lenta de material orgánico, algas marinas	Cloruro de polivinilo, combustión de tabaco
Cloruro de metileno [CH ₂ Cl ₂]		Disolventes
Cloroformo [CHCl ₃]		Industria farmacéutica, disolventes, blanqueo de fibras, degradación de tricloro etileno [CHCl=CCl ₂]
Compuestos de Cl tetracloruro de carbono	Fuente natural	Fuente Antropógena Disolvente, extintores de incendios, degradación de tetracloroetileno [CCl ₂ =CCl ₂]
metilcloroformo [CH ₃ CCl ₃]		Disolvente, desengrasantes
tricloroeteno [CHCl=CCl ₂]		Disolvente, Lavado en seco, desengrasantes

tetracloroeteno [CCl ₂ =CCl ₂]		Disolvente, Lavado en seco, desengrasantes
Hidrocarburos fluoroclorados [CCl ₃ F, CCl ₂ F ₂ , C ₂ Cl ₃ F ₃ , C ₂ Cl ₂ F ₄ , C ₂ ClF ₅]		Spray, refrigerantes, agentes espumantes, disolventes
Otros gases traza H ₂	Océanos, suelos, oxidación de metano, de Isopreno, y de terpenos	Gases de escape de automóviles, oxidación de metano,
Fluoruro de hidrógeno [HF]	Volcanes y fuentes de vapor	Producción de ladrillos, industria cerámica
Ozono [O ₃]	En la estratosfera: transformación natural de NO a NO ₂	Transformación de NO a NO ₂
H ₂ O	Evaporación de los océanos	Sin importancia
Hexafluoruro de azufre [SF ₆]		Aislante en electrónica
Tetrafluoruro de carbono [CF ₄]		Producción de aluminio
Bromuro de metilo CH ₃ Br	Procesos aeróbicos	Fumigación de suelos y cereales
Ioduro de metilo CH ₃ I	Procesos aeróbicos	Sin importancia

1.3 Los daños causados por los contaminantes del aire

Las cargas antropógenas de la atmósfera han rebasado los aspectos regionales y han crecido a problema globales.

Alrededor del año 1960, debido a las lluvias acidas y a las influencias de las emisiones de CO₂ y de los hidrocarburos fluoroclorados sobre el clima, se formó la conciencia de que las contaminaciones de la atmósfera ya no son problemas locales sino han cambiado a ser un problema de toda la humanidad.

El hombre está obligado (y esto ya hoy día es indiscutible) reducir sus emisiones incondicionalmente. De esto dependerá, si nuestra tierra permanece habitable en la misma forma como ahora.

La fracción volumétrica de todos los contaminantes del aire es menor que 0.04%. 90% de la contaminación es causada por pocos contaminantes: CO₂, los hidrocarburos, NO_x CO y SO₂.

Las acciones dañosas de los contaminantes del aire sobre el medio ambiente pueden ser muy diferentes. Algunos de los resultados pueden medirse, como p.ej. el cambio del pH de los suelos y aguas, y su contenido en metales pesados, o los procesos de corrosión. Otros daños difícilmente son evaluables, como p.ej. las influencias sobre la salud. De este hecho resulta que a veces difieren las evaluaciones de las influencias que pueden causar o que causa algún contaminante.

Es indudable que los contaminantes del aire:

- Influyen negativamente sobre la salud de los seres humanos y animales y a veces pueden poner en peligro su vida, especialmente la de los niños porque el sistema inmunológico de ellos todavía no están totalmente desarrollados.
- Causan daños a la vegetación y a los suelos.
- Ensucian los materiales y deterioran sus calidades y hasta causan a veces su destrucción por corrosión; (se estima p.ej. que en Alemania los daños de corrosión causados por los contaminantes del aire, sobrepasan los mil millones de marcos alemanes por año).
- Causan daños a los objetos de arte (patrimonios de la humanidad).
- Disminuyen la irradiación solar y la visibilidad;
- Influyen sobre el clima.

1.4 Los fundamentos de las reacciones fotoquímicas

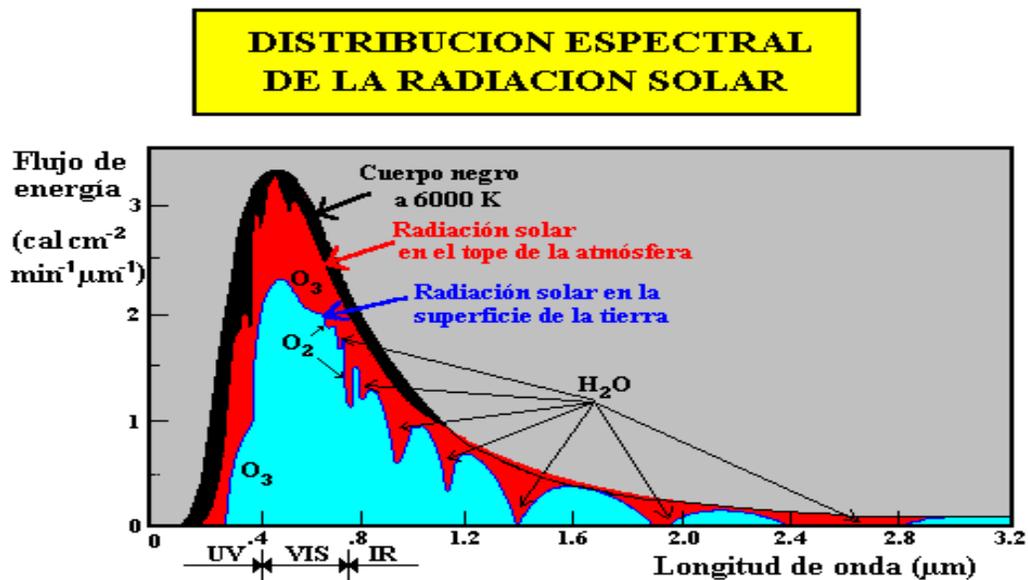
La fotoquímica es el área de la química que investiga la acción de la radiación electromagnética de longitudes de onda entre 100 nm y 1000 nm sobre objetos químicos.

Una reacción fotoquímica es una reacción química causada por la luz.

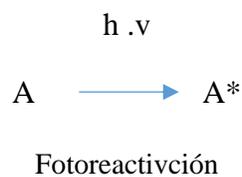
El fotoreactor más grande que conocemos es la atmósfera terrestre y el sol es la fuente de luz para las fotorreacciones que ocurren en este reactor (Deshler et al., 1990).

El esquema siguiente muestra la distribución espectral de la radiación solar.

Figura 32 Distribución espectral de la radiación solar



El primer paso de cada fotorreacción es la absorción de luz por un átomo o una molécula. Como consecuencia de tal absorción de energía, el átomo o la molécula **A** se transforma a un estado electrónicamente excitado **A***, que es un estado mucho más reactivo que el estado electrónicamente basal.

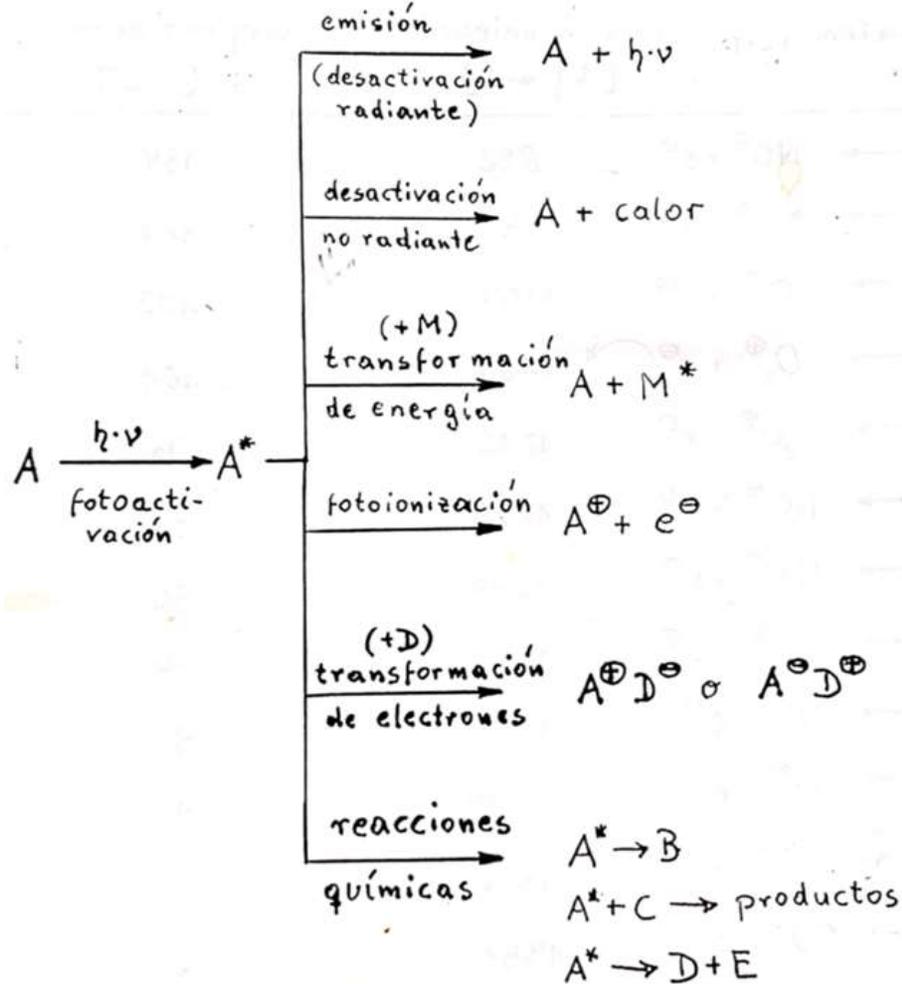


La partícula excitada normalmente permanece por corto tiempo en el estado de energía más alta.

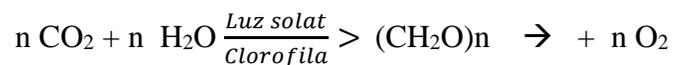
Ella puede desactivarse por procesos radiantes y no radiantes y de tal manera regresar a su estado electrónicamente basal.

Otra posibilidad para disminuir su exceso de energía consiste en sufrir cambios químicos sin o con participación de otros átomos o moléculas.

Figura 33 Los Procesos fotoquímicos



La fotorreacción más importante para la vida terrestre es la fotosíntesis de los carbohidratos a partir de CO_2 y agua:



De esta manera se forman anualmente $200 \cdot 10^9$ t sustancia orgánica seca en la superficie de la tierra y en la parte superior de los océanos. El hombre aprovecha más o menos $6 \cdot 10^9$ t/a.

Los bosques y la selva aprovechan 2% y 3% de la radiación solar que entra a sus hojas verdes y los cultivos agrícolas entre 1% y 2%.

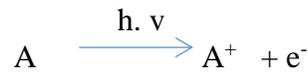
La mayoría de las fotorreacciones en la atmósfera son reacciones fotolíticas, es decir, las moléculas excitadas sufren desdoblamiento de un enlace químico.

Las condiciones necesarias para tal reacción son:

- La molécula tiene que absorber el fotón y transformar su energía en otra forma de energía molecular;
- El fotón tiene que tener suficiente energía para desdoblarse un enlace químico.

La probabilidad de las reacciones fotolíticas crece con la altura porque la parte de la radiación de energía mayor también crece con la altura.

Las fotoionizaciones



Necesitan todavía más energía. Por eso ellas tienen lugar en alturas arriba de los 80km.

Tabla 18 Procesos de ionización en la atmosfera alta

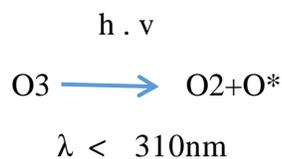
Reacción química	Energía de ionización [kJ/mol]	Longitud de onda [nm]
NO → NO ⁺ + e ⁻	892	134
NO ₂ → NO ₂ ⁺ + e ⁻	945	127
O ₂ → O ₂ ⁺ + e ⁻	1164	103
O ₃ → O ₃ ⁺ + e ⁻	1187	101
H ₂ O → H ₂ O ⁺ + e ⁻	1216	98
HCl → HCl ⁺ + e ⁻	1229	97
N ₂ O → N ₂ O ⁺ + e ⁻	1244	96
OH → OH ⁺ + e ⁻	1271	94
H → H ⁺ + e ⁻	1312	91
O → O ⁺ + e ⁻	1314	91
CO ₂ → CO ₂ ⁺ + e ⁻	1328	90
CO → CO ⁺ + e ⁻	1352	88
N → N ⁺ + e ⁻	1402	85
H ₂ → H ₂ ⁺ + e ⁻	1488	80
N ₂ → N ₂ ⁺ + e ⁻	1503	80
He → He ⁺ + e ⁻	2372	50

De esta manera la atmósfera (sana) actúa como filtro para la radiación de alta energía y protege la vida en la superficie terrestre.

Los procesos y la composición de la capa atmosférica entre 10 km y 150 km, lo que es la quimiosfera, son caracterizadas esencialmente por la fotorreacción, porque la radiación solar puede entrar a estas alturas todavía libremente.

1.5 Los radicales. OH en la troposfera

También la troposfera es caracterizada por fotorreacciones, aunque la radiación solar de alta energía (longitudes de onda menores de 310 nm) prácticamente ya no entra. No obstante, la radiación y la cantidad pequeña del ozono que hay en la troposfera son suficientes para generar los radicales ·OH que son las partículas más reactivas de la troposfera:



La mayoría de los átomos excitados de oxígeno sufren desactivación por choques con otras moléculas (N₂, O₂)



Pero se queda una pequeña y suficiente cantidad de O* que reacciona con moléculas de agua formando los radicales ·OH.

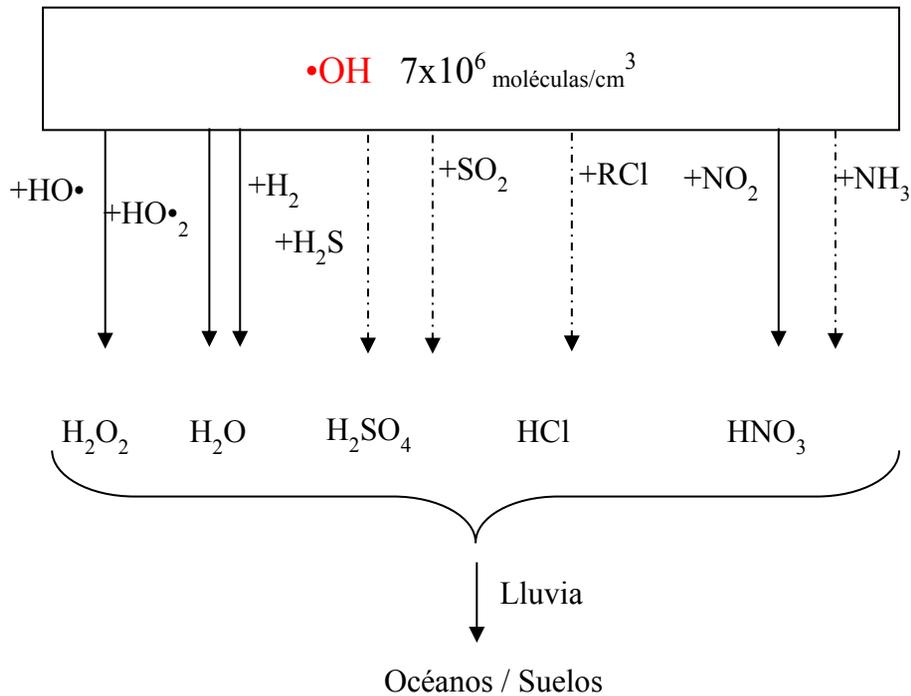


La última reacción es la fuente principal para los radicales ·OH en la troposfera y por consiguiente la reacción clave de toda la química de la atmósfera.

El radical OH es muy reactivo y por eso tiene el tiempo de vida más corto (≈ 1 s) de todas las partículas. Aunque su concentración en la troposfera ($7 \cdot 10^6$ moléculas por cm^3) es mucho más bajo que en la estratosfera, estos radicales actúan como “detergente” de la troposfera.

El radical $\cdot\text{OH}$ determina el tiempo de vida de la mayoría de los contaminantes en la troposfera. Los productos de sus reacciones con los contaminantes son solubles en agua y por eso salen de la atmósfera con las lluvias.

Figura 34 Radicales libres



Raramente las degradaciones de las moléculas orgánicas de la atmósfera tienen lugar con otros reactivos o son simples fotólisis.

Cuando mayor y más complicada es la molécula orgánica tanto mayor es la probabilidad de tener un centro reactivo con el cual empieza la degradación. Por eso los terpenos con sus dobles enlaces y los compuestos aromáticos son más reactivos que los alcanos y los hidrocarburos fluorados. Dentro de una serie de compuestos homólogos, la molécula más pequeña es la más estable (p. ej. el metano reacciona mucho más lentamente que los otros alcanos).

2 El dióxido de carbono

2.1 Las propiedades

El dióxido de carbono es un gas incoloro, ininflamable y soluble en agua.

Tabla 19 Solubilidad de CO_2 en agua

Solubilidad de CO_2 en agua	
Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Solubilidad [ml/L]
0	1710
10	1190
20	880
25	757
60	270

Aproximadamente 0.1% del CO₂ disuelto reacciona con el agua según:



Con las bases fuertes del CO₂ forman los carbonatos, p.ej.



El CO₂ es el compuesto más estable de todos los que participan en el ciclo natural del carbono. La combustión de carbono o de los compuestos forma como producto el CO₂:



Aunque a temperaturas más altas la formación del monóxido de carbono es la reacción preferida:



Además en presencia de carbón ardiente existe el llamado equilibrio de *Boudouard*:



El CO₂ es un compuesto térmicamente muy estable a una temperatura de 2000 °C solo menos del 10% de toda la molécula sufren el desdoblamiento térmico.

El hombre espira diariamente más de 700g de CO₂ que son alrededor de 350 litros. (Los 80 millones de habitantes de México espiran diariamente 28 millones de m³ de CO₂).

El aire espirado contiene aproximadamente 4% de CO₂. El CO₂ no es venenoso. El hombre puede respirar por varias horas, sin problemas graves, el aire con un contenido de CO₂ hasta de 2.5%. A partir de un contenido de 8% a 10% de CO₂ empiezan dolores de cabeza. Un contenido de 20% es mortal.

El CO₂ es más pesado que el aire. Por eso el CO₂ se acumula en espacios bajos como p.ej. en algunas cuevas.

El CO₂ es el nutriente más importante de las plantas las cuales por medio de la fotosíntesis forman los carbohidratos a partir de él.

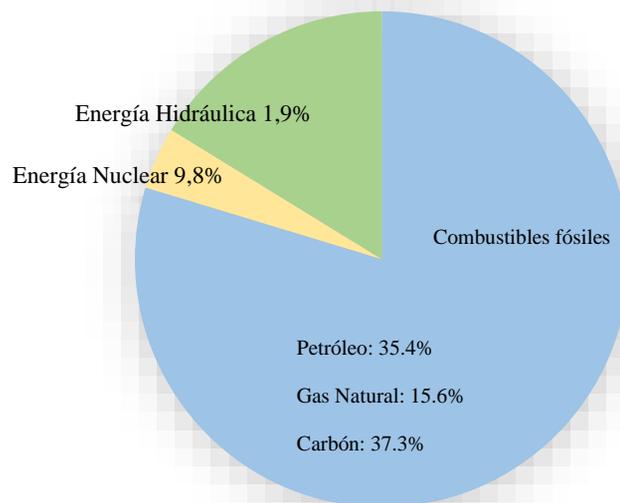
2.2 Las fuentes y los sumideros del CO₂, el ciclo de carbono

La atmósfera terrestre contiene aproximadamente 2.35 x 10¹² t de CO₂ y los océanos contienen 1.3. 10¹⁴ t, parte de disolución y parte como carbonato CO₃²⁻ e hidrogenocarbonato HCO₃⁻.

En el año 1947 en México se encontró, durante los trabajos de sondeo, una fuente de CO₂ de la cual por algún tiempo diariamente salían 247 000 m³ del gas. La mayor parte del CO₂ se encuentra fijada químicamente en forma de los carbonatos e los sedimentos.

Las emisiones de CO₂ se elevan a 850. 10⁹ t anualmente 50% de esta cantidad proviene de la respiración y de otros procesos biológicos. De la combustión de los combustibles fósiles y de incendios forestales resultan únicamente entre 2% y 4.5%. Las emisiones causadas por las termitas se estiman en 50.10¹² t por año, lo que es el doble de todas las emisiones antropógenas.

A pesar de todo, la combustión de los combustibles fósiles contribuye esencialmente al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Casi 90% de la producción mundial de la energía tiene como base la combustión de los combustibles fósiles.

Figura 35 Consumo mundial de energía primaria 1990

Tanto más desarrollado es un país cuanto mayor es su consumo de energía y por lo tanto la emisión de CO₂. En la mayoría de los países industrializados la emisión de CO₂ alcanza valores de entre 10 t/a y 20 t/a por habitante, mientras que en los países en vías de desarrollo la emisión de CO₂ tiene valores alrededor de 1 t/a por habitante.

En Alemania, como un país típico de los países desarrollados, el tráfico con 27.6% y la industria con 31.6% consumen la mayor parte de la energía.

De las emisiones antropógenas del CO₂ aproximadamente 60% son acumuladas, por partes casi iguales, por los océanos y las plantas (sumideros). El resto (40%) se queda en la atmósfera y causa el aumento de la concentración de CO₂ y con esto el efecto invernadero.

El transporte del CO₂ de la atmósfera a los océanos es un proceso lento. El intercambio de toda la cantidad de CO₂ de la atmósfera ($2.35 \cdot 10^{12}$ t) con los océanos dura entre 7 y 8 años. Esta es la razón principal para que los océanos como sumideros de CO₂ no puedan compensar el aumento rápido de las emisiones de CO₂. En la actualidad todavía no es previsible, si los océanos y las plantas también en el futuro pueden actuar como sumideros eficaces de CO₂ y hasta cuando lo pueden hacer. Es probable que la capacidad de las plantas, de disminuir la concentración atmosférica de CO₂, se reduzca por otros factores que pueden influir negativamente sobre el crecimiento de las mismas como p.ej. los cambios de temperatura propiamente causado por el efecto invernadero.

Nadie sabe ¿Qué tan sensible son estos equilibrios tan complejos? Pero ya es muy claro que independientemente de las emisiones antropógenas, el efecto del CO₂ troposférico actual, por causa del largo tiempo de permanencia en la atmósfera, influirá mucho sobre el futuro lejano. Algunos cálculos modelo han demostrado que la concentración del CO₂ en el año 2050 podría alcanzar un valor de 450 ppm y en el año 2100 hasta 520 ppm (actualmente: = 360 ppm).

Para estabilizar el contenido troposférico de CO₂ sería necesario disminuir en seguida las emisiones antropógenas en un 50%-80%.

Algunas observaciones en cuanto al oxígeno:

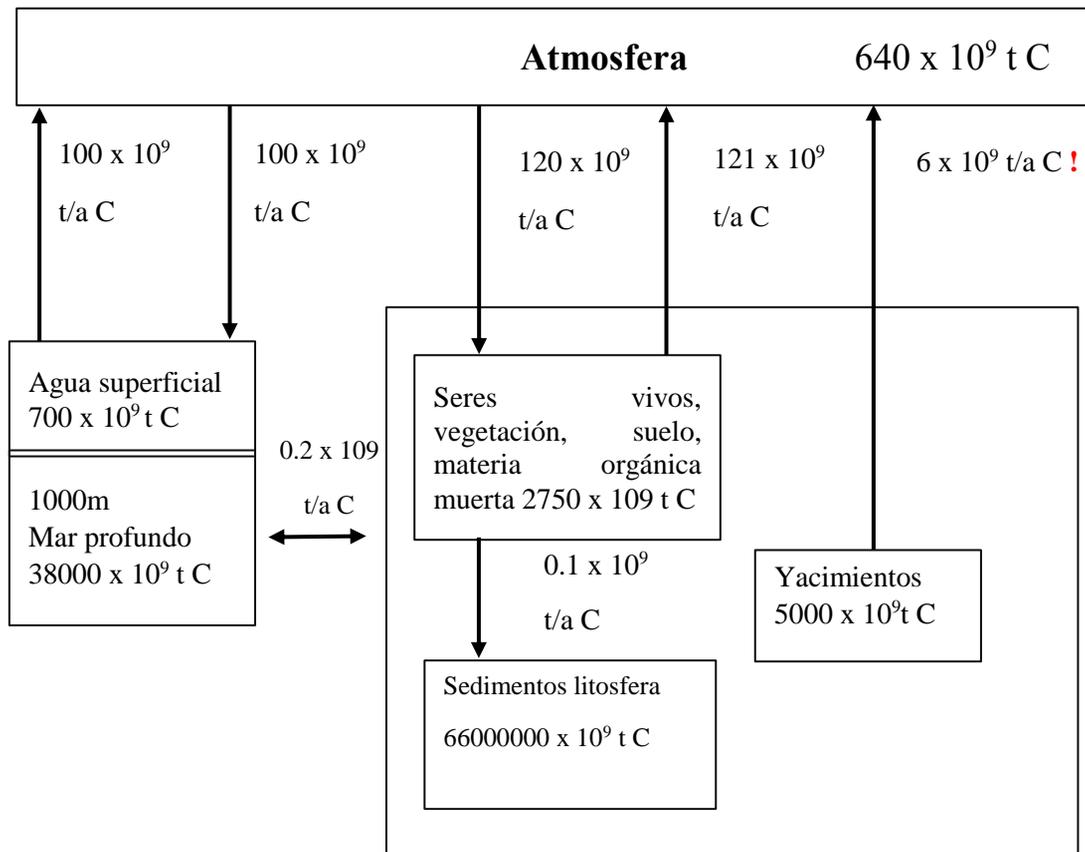
Su cantidad atmosférica de aproximadamente 10^{15} t, es prácticamente constante, aunque también hay procesos de intercambio con la biosfera y litosfera. Las plantas producen anualmente alrededor de $2.7 \cdot 10^{12}$ t de oxígeno por la fotosíntesis. Salvo una cantidad de $48 \cdot 10^6$ t, los procesos de respiración y de degradación oxidativa de material orgánico consumen el oxígeno producido por las plantas.

El dióxido de carbono participa por lo menos en dos ciclos de carbono:

El ciclo biosférico del carbono es determinado por la velocidad de la fotosíntesis, así como por la velocidad de la mineralización de la biomasa muerta a CO_2 , compuestos inorgánicos y H_2O . Este ciclo del CO_2 dura aproximadamente 5 años. El ciclo geoquímico del carbono depende esencialmente del intercambio del carbono entre la atmósfera, el agua en la profundidad de los océanos (a partir de los 1000 m hacia abajo) y los sedimentos en el océano. Este intercambio es un proceso mucho más lento y dura aproximadamente 120 años.

El esquema siguiente muestra estas relaciones en cuanto a las cantidades de carbono transportadas entre los diferentes compartimientos y las cantidades fijadas.

Figura 36 Reservorio y flujos del ciclo de carbono.



Sedimentos	Contenido relativo
Carbonatos	24700
Carbono orgánico	9200
Tierra firme	
Carbono orgánico	1.05
Océanos	
$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$	0.3
HCO_3^-	42
CO_3^{2-}	5.3
Materia orgánica muerta	3.7
Materia viva	0.01
Atmósfera	
CO_2	1.0

Los números muestran la cantidad relativa de los átomos de carbono respecto a la atmósfera (=1). Por cada átomo de carbono dentro de la atmósfera hay 35000 átomos de carbono por los sedimentos, la mayoría fijados en los carbonatos, y un poco más de 50 átomos de carbono en los océanos. La cantidad de átomos de carbono de toda la biosfera es más o menos igual a la cantidad de los átomos de carbono dentro de la atmósfera.

2.3 Los cambios de la concentración del CO₂ en la atmósfera

El contenido de CO₂ en la atmósfera varía en dependencia del tiempo y del lugar.

En el hemisferio norte la concentración de CO₂ en la atmósfera es aproximadamente 3ppm más alta que en el hemisferio sur. Las curvas siguientes muestran los cambios de la concentración de CO₂ en dependencia del tiempo.

Figura 37 Curva de concentración CO₂

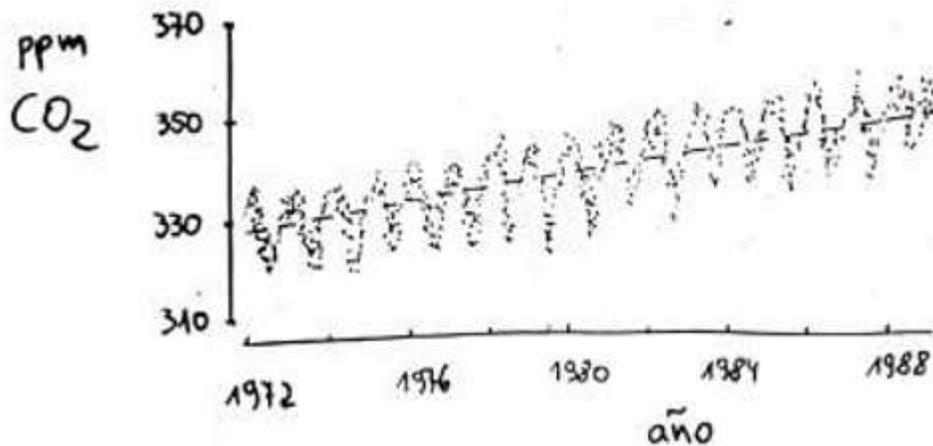
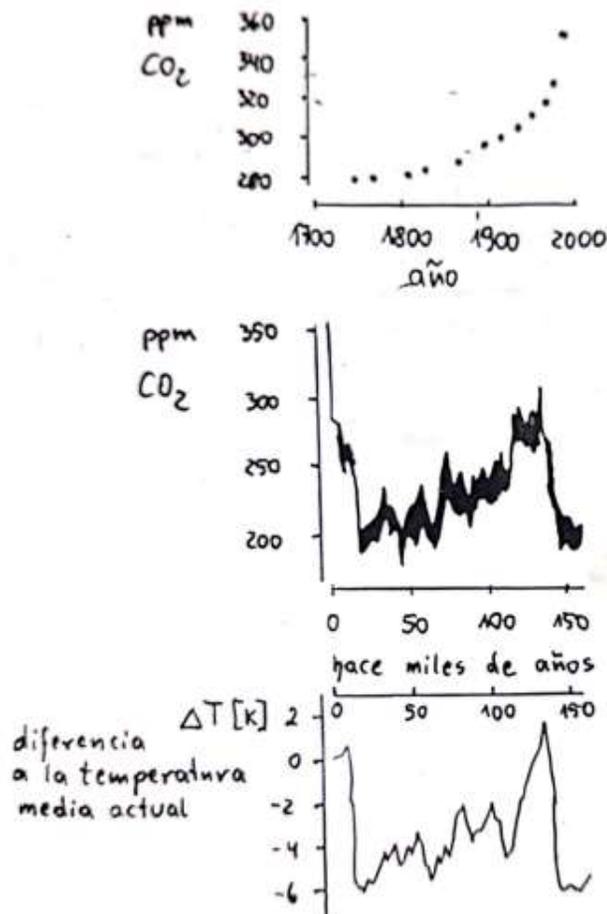


Figura 38 Cambios de la concentración atmosférica del CO₂



Estas informaciones provienen de los núcleos de perforaciones realizados en el hielo "eterno" de la Antártida. El hielo encierra y conserva perfectamente pequeñas burbujas de aire. Bajo la presión alta en las regiones más profundas, las moléculas de los gases entran a la red cristalina del agua como en una jaula y no sufren ningún cambio a lo largo del tiempo.

Es interesante, que del análisis de los mismos núcleos también es posible sacar conclusiones en cuanto al clima durante los milenios pasados:

La temperatura de condensación del agua depende un poco del contenido de isótopos que forman la molécula del agua, o sea, las moléculas formadas por isótopos más pesadas ^{18}O y ^2H condensan a una temperatura más alta que las moléculas formadas por los isótopos ^{16}O y ^1H . Entonces la determinación de las relaciones isotópicas en el agua de las muestras da directamente informaciones sobre las temperaturas durante la formación de las precipitaciones que después formaron el hielo.

Si comparamos las curvas para la concentración del CO_2 con las curvas de la variación de la temperatura, entonces encontramos una semejanza sorprendente. Pero también vemos que el contenido de CO_2 en la atmósfera nunca fue tan alto como actualmente.

2.4 Los gases traza y el clima

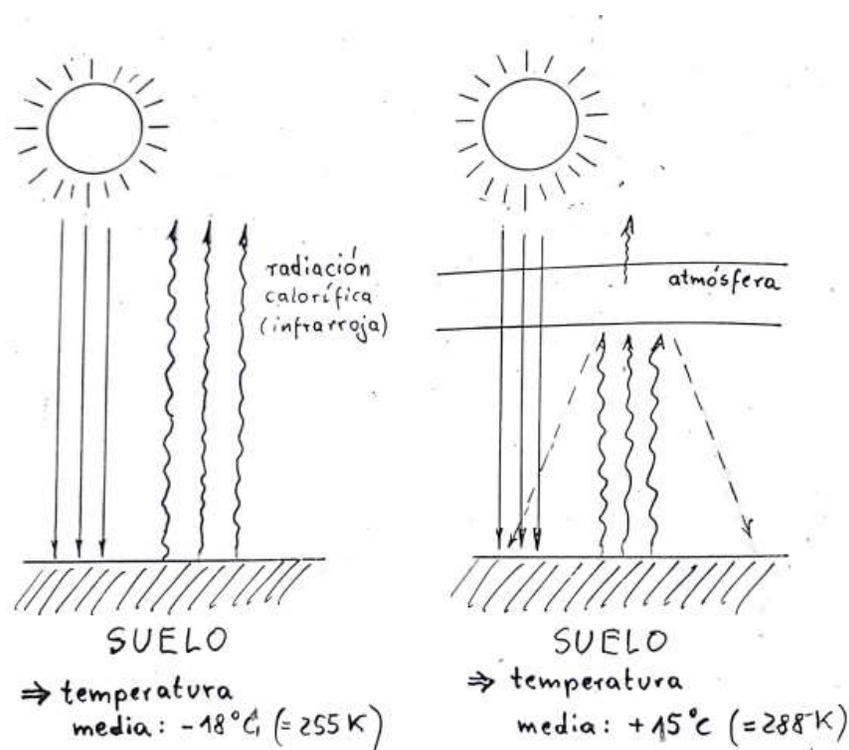
Sin la existencia de la atmósfera, la temperatura media de la tierra tendría valor de -18°C (255K), lo que corresponde al equilibrio entre la energía solar que entra a la superficie terrestre y la energía que sale de la tierra en forma de radiación de calorífica (=radiación infrarroja).

Actualmente la temperatura media global tiene un valor de aproximadamente $+15^\circ\text{C}$ (288K), es decir, la superficie terrestre es por 33°C ($=33\text{K}$) más calurosa que sin el efecto de la atmósfera. Este es el efecto invernadero natural que hace posible la existencia de vida en nuestro planeta.

La radiación solar entra por la atmósfera hacia el suelo. En este la energía es absorbida por las moléculas que forman su superficie y es transformada en energía térmica (oscilación de los átomos dentro de las moléculas y movimientos de ellas).

La energía térmica del suelo en forma de radiación infrarroja después es entregada por un lado de las moléculas de la atmósfera que tiene contacto con el suelo y por otro lado ella sale del suelo en forma de radiación infrarroja hacia regiones de la atmósfera más altas. Halla la radiación infrarroja interacciona con las moléculas atmósfera y esto causa el aumento de la temperatura de la atmósfera.

Figura 39 Radiación calorífica



De esta manera, a lo largo de millones de años, se estableció un equilibrio entre la cantidad de la energía que entra a la atmósfera y que sale. Existe una condición indispensable para que una molécula absorbe alguna forma de la radiación:

Una molécula puede existir en diferentes Estados Unidos los energéticos y permanecer por algún tiempo en un estado energéticamente más alto que el estado basal. Las diferencias energéticas entre dos diferentes niveles energéticos, ΔE , corresponde a valores concretos. Si la radiación tiene una energía igual a unos de estos ΔE , entonces la molécula absorbe la radiación para subir al nivel más rico en energía. A partir de este nivel la molécula puede bajar energéticamente a nivel anterior, que es menos rico en energía, ya sea por choque o con otras moléculas (entrega de energía térmica o por procesos radiantes emisión de radiación) de esta manera la energía poco a poco es distribuida en un área mayor.

Por consiguiente, los procesos de absorción y transformación de la energía dependen claramente del tipo de moléculas y de su cantidad (concentración). Los gases traza naturales de la atmósfera que causan este efecto en primer lugar son:

H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O

Se les denomina gases activos sobre el clima y bases de invernadero naturales. Ahora sí por alguna causa aumentan las concentraciones atmosféricas de aquellas moléculas que absorben la radiación infrarroja o se dejásemos salir a la atmósfera grandes cantidades de moléculas no naturales que causan el mismo efecto, por consiguiente, también debe aumentar la temperatura del sistema atmosférico.

Las actividades humanas causan entrega de diferentes gases a la atmósfera que son suficientes estables para permanecer en ella por largo tiempo y que tiene la propiedad de absorber la radiación infrarroja. Estos gases se denominan gases de invernadero antropógenos. Un gran potencial como gas de invernadero antropogéno en en los hidrocarburos fluoroclorados, el ozono en la atmósfera inferior y el exceso del CO_2 .

El esquema siguiente muestra la influencia de los gases de invernadero más importante sobre la transferencia de la atmósfera palabra radiación infrarroja.

Figura 40 Transferencia de gases de efecto invernadero

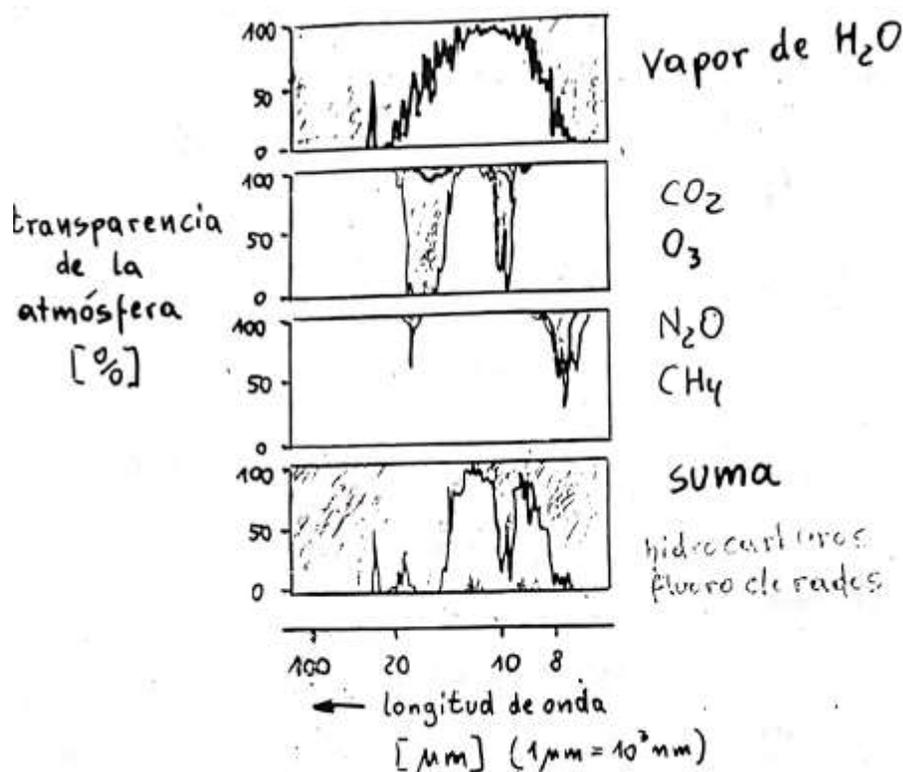


Figura 41 Contribución de los gases al efecto invernadero

Gas	Contribución adicional al efecto invernadero [%]	Aumento de la temperatura [K]	Potencial invernadero relativo (GWP)	Aumento relativo del contenido por año en % de contenido original
CO ₂	50	7.2	1	0.3-0.4
CH ₃	13	0.8	21	1
O ₃ (atmósfera inferior)	7	2.4	2000	0.7
N ₂ O	5	1.4	206	0.2-0.3
H ₂ O		20.6		
CFCl ₃	5	0.6	12400	5
CF ₂ Cl ₂	12	0.6	15800	5
Otros (NH ₃ , CCl ₄)		0.6		

Para ser comparables estas contribuciones se usa el potencial relativo del efecto invernadero GWP (del inglés Greenhouse Warming Potential) como valor de la referencia se usa uno para el efecto del CO₂.

Las influencias reales de los gases de invernadero sobre el desarrollo del clima son muy discutidas. Por causa de las variaciones del clima a lo largo de un año, los cambios lentos no son notables fácilmente (Ellis, 2012)

El " problema del dióxido de carbono" consiste realmente en tres problemas parciales:

1. ¿Qué tan rápido ya está Qué valor aumentará el contenido del cO₂ por el uso de los combustibles fósiles?
2. ¿Causa el aumento de la concentración del CO₂ verdaderamente un calentamiento mundial?
3. ¿Tienen los cambios probables del clima y otras consecuencias del crecimiento de la concentración del CO₂ verdaderamente un efecto negativo sobre la biosfera?

No es posible predecir exactamente los efectos de las actividades humanas sobre el clima. Aunque el océano es el regulador más importante para la concentración del CO₂, no se sabe mucho de los procesos de intercambio de las aguas superficiales con las de las profundidades del mar.

No es posible predecir exactamente los efectos de las actividades humanas sobre el clima. Aunque el océano es el regulador más importante para la concentración del CO₂, no se sabe mucho de los procesos de intercambio de las aguas superficiales con las de las profundidades del mar.

Tampoco se sabe Mucho acerca de las consecuencias que tienen los cambios negativos del crecimiento de planta (causados por el aumento de la radiación UV) sobre la capacidad del mar para absorber el CO₂.

El vapor de agua absorbe la radiación infrarroja y actúa como gas invernadero. Con la temperatura creciente crece también la capacidad del aire para absorber el agua, lo que causa un efecto retroactivo. La consecuencia sería un calentamiento todavía mayor.

Cómo se ven los esquemas y la tabla también otros gases traza tienen el efecto invernadero y el aumento de su concentración causa efectos adicionales.

Durante los últimos 100 años la temperatura media promedio mundialmente 0.5 K. Esto causó Un aumento en el nivel del mar de 10 cm a 20 cm. La causa probablemente ya viene de las actividades humanas. Se estima que dentro de los próximos 100 años la temperatura podría crecer alrededor de 5 K más, lo que corresponde al mismo crecimiento de la temperatura entre el último período glacial hace 18000 años, y la actualidad.

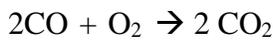
La mayoría de los científicos está convencida de que hay que disminuir el uso de los combustibles fósiles para evitar problemas todavía no calculables. Hay otros científicos que suponen que el clima pasa actualmente por una fase de enfriamiento y por eso creen que las emisiones antropógenas tal vez tienen algún efecto compensatorio.

3 El monóxido de carbono (CO)

3.1 Las propiedades

El CO es un gas incoloro, inodoro y sin sabor, su masa específica es un poco menor que la del aire. El CO es muy poco soluble en agua.

A una temperatura arriba de 700°C el CO se quema con una llama azulada formando, con producto de oxidación, el CO₂.



Para las reacciones dentro del sistema C/CO/CO₂/O₂ también el equilibrio de *boudoward* tiene importancia, lo que ya mencionamos para el CO₂.

Las mezclas con el aire son explosivas, si contienen entre 12.5% y 74% de CO.

Su tiempo de vida en la atmosfera es de 40 días.

El CO es más reactivo que el CO₂, por eso se usa el CO en la industria química como reactivo para diferentes tipos de síntesis. Además, el CO forma parte del gas de gasógeno (25%) y del llamado gas de agua (40%), los cuales se usan en algunos países también como fuente energética para las casas.

3.2 Las fuentes y los sumideros del CO

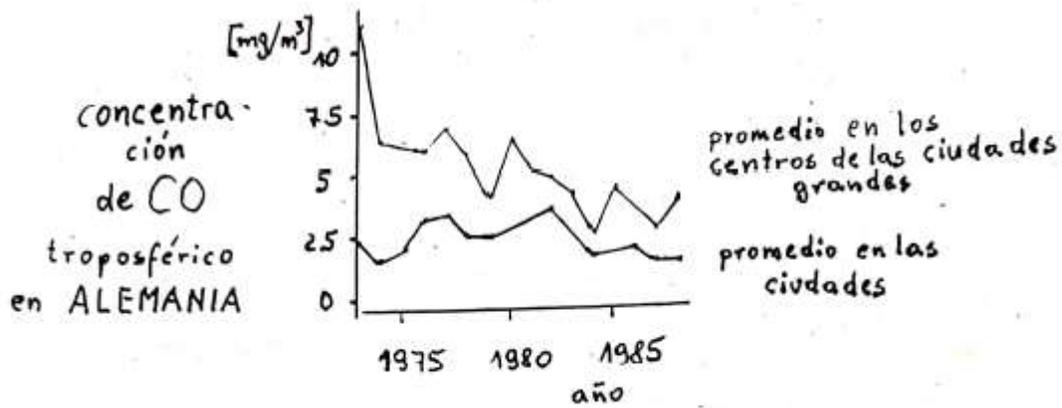
Cada combustión de carbono de combustibles fósiles y de compuestos orgánicos da como producto al lado del producto principal Qué es el CO₂, también el monóxido de carbono su cantidad formada aumenta mucho, cuando el oxígeno presenta no alcanza para la oxidación completa. Por eso todo tipo de calefacción a base de combustibles fósiles, tanto escala Industrial como en las casas particulares, es fuente de CO a veces más, a veces menos. Una fuerte semejante e importante son los motores de combustión (Fabian, 1986).

Otra fuente importante de CO es la oxidación de los compuestos orgánicos da como producto, al lado del producto principal que es el CO₂, también el monóxido de Carbono. Su cantidad formada aumenta mucho, cuando el oxígeno presente no alcanza para la oxidación del metano (CH₄) causada por los radicales OH. Esto significa que la misma reacción a la vez es fuente de CO y sumidero del metano. El 80% del CO en las regiones no urbanas proviene de este proceso natural.

También los océanos son fuente de CO, aunque no tan importantes. Todavía no se sabe en cual proceso se forma el CO dentro de los océanos. De las fuentes antropógenas provienen anualmente 1490. 10⁹ t de CO y las fuentes naturales contribuyen con 920.10⁹ t por año.

Dentro de las ciudades se observa una relación directa entre la intensidad del tráfico de automóviles de CO en el aire. El tráfico muy intenso y las congestiones del tráfico (!!!) pueden causar valores hasta 140 ppm CO. En estos casos se forma tanto tanta cantidad de CO dentro de un espacio muy limitado, que los mecanismos naturales fallan, los cuales normalmente degradan el CO.

Por eso, la verificación de los carros es una (buena) medida, pero la planificación urbana, para garantizar una circulación fluida, es otra necesidad importante. De esta manera se logró, p.ej.en Alemania, la disminución continua de la concentración de CO en los centros urbanos.

Figura 42 Promedio de CO de las zonas urbanas de origen antropógeno

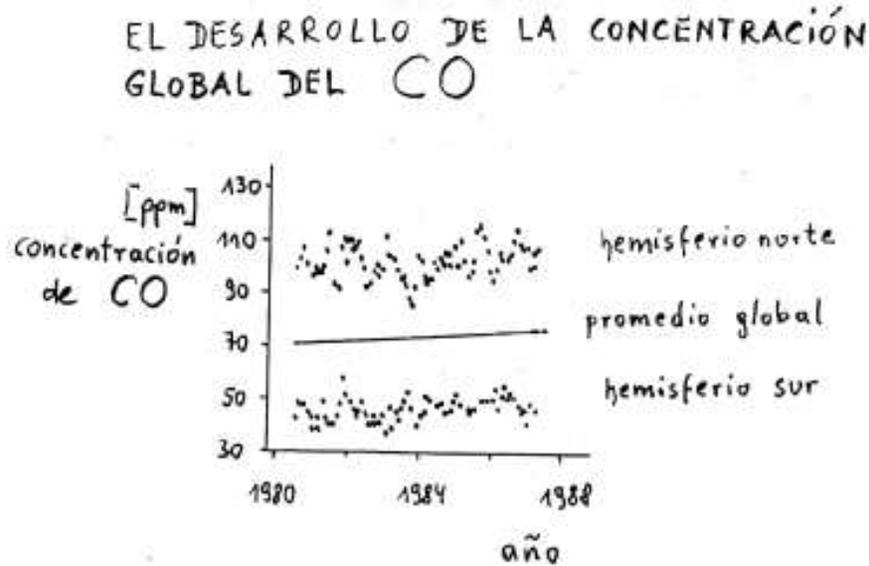
En las zonas urbanas, entre 95% y 98% del CO es de origen antropógeno.

Figura 43 Fuentes y sumideros del CO de atmosfera

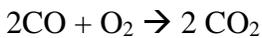
Las fuentes y los sumideros para el CO de la atmósfera	
Cantidad estimada (en 10 ⁹ t/a)	
Fuentes naturales	
Oxidación fotoquímica de compuestos químico-orgánico volátiles de origen natural (metano, etc.) en la troposfera	750
Plantas y microorganismos en los continentes	100
Océanos	40
Incendios forestales	30
Suma: 920	
Fuentes antropógenas	
Combustión de combustibles fósiles	500
Desmonte de las selvas tropicales por incendios	400
Oxidación fotoquímica de compuestos químicos-orgánicos volátiles de origen antropógeno en la troposfera	340
Incendios de sabanas y combustión de biomasa en las zonas tropicales	200
Combustión de leña	50
Suma: 1490	
Total: 2410	
Sumideros	
Reacción con los radicales OH en la troposfera	2050
Absorción por los suelos	250
Degradación fotoquímica en la estratosfera	107
Suma: 2407	
Diferencia entre las fuentes y los sumideros = acumulación en la atmósfera: 3	

Vemos que las fuentes principales son las combustiones incompletas y la oxidación fotoquímica (por medio de los radicales OH que son producto de la reacción de agua con la luz ultravioleta) de los compuestos orgánicos volátiles. Por eso, la concentración de CO en el hemisferio norte es mayor que en el hemisferio sur. Además, y por la misma causa, la concentración de CO en la troposfera mundialmente aumento poco a poco.

Figura 44 Desarrollo de la concentración global del CO

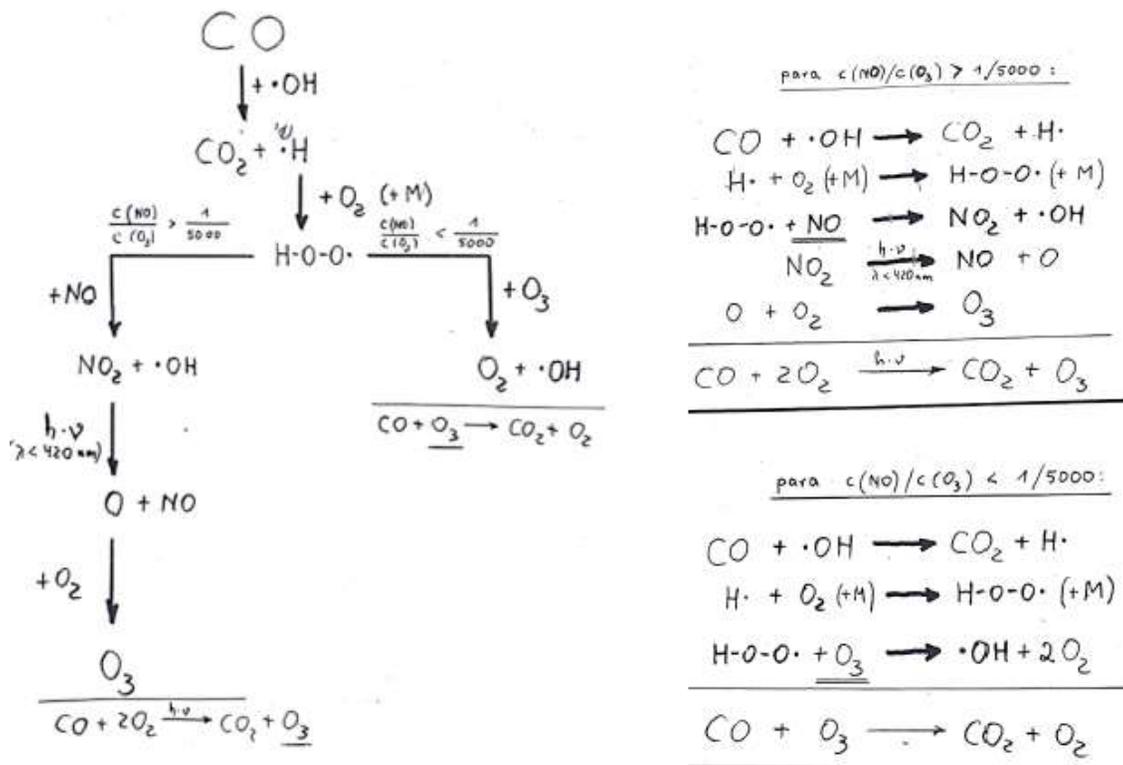


Como sumideros para el CO actúan procesos de oxidación. Sin embargo, la oxidación normal con el oxígeno del aire



Es una reacción muy lenta y no muy eficaz para disminuir la concentración de CO. El proceso oxidativo más importante es la reacción con los radicales OH como primera etapa de una serie de reacciones en las cuales también el monóxido de nitrógeno (NO) y el ozono (O₃) participan. Esta reacción es muy interesante e importante, porque en dependencia de las contracciones del monóxido de nitrógeno y de ozono se forma como producto o el oxígeno molecular o el ozono

Figura 45 Degradación de CO en troposfera



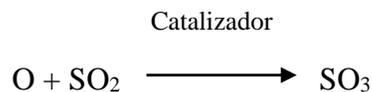
Si la relación entre las concentraciones de NO y de O₃ es mayor que 1/5000 (concentración alta de NO), entonces se forma el ozono. Si la relación entre las dos concentraciones es menor que 1/5000 (concentración alta de O₃), entonces se forma O₂. El ozono es muy venenoso y normalmente no se forma en la atmosfera inferior. El NO proviene en primer lugar de los automóviles. Por lo tanto, mucho tráfico causa también la formación de ozono.

4 Los compuestos de azufre

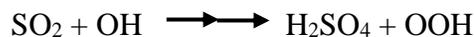
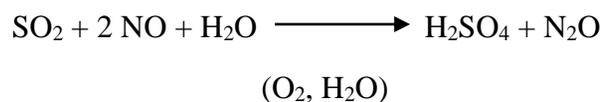
4.1 Sus propiedades y su uso

Solamente pocos compuestos de azufre participan en la química de la atmósfera. Lo más abundante es el dióxido de azufre, SO_2 . El SO_2 es un gas incoloro, tiene un olor muy penetrante y es 2.3 veces más pesado que el aire. Es muy soluble en agua. A una temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se disuelven 18.6 g de SO_2 , que son 6.5 L. En 100 mL de agua.

El SO_2 no es inflamable. Solamente en presencia de catalizadores es posible oxidarlo directamente con el oxígeno a SO_3 . En el aire las partículas de polvo, especialmente de hollín, pueden actuar como tal catalizador (Chang, 2002).



También en presencia del NO o con los radicales OH el SO_2 sufre oxidación:



Se usa el SO_2 para la conservación de algunos alimentos, p.ej, frutas secas y vino, y como blanqueador en la industria textil y de celulosa. La mayor parte (98%) sirve para la producción del ácido sulfúrico (H_2SO_4)

El valor MAK es de 2ppm ($5\text{mg}/\text{m}^3$)

La disolución acuosa es un ácido



Otro compuesto de azufre en la naturaleza es el sulfuro de hidrógeno, H_2S . El H_2S es un gas muy venenoso y tiene el olor de los huevos podridos. Ya a partir de una concentración de $0.15\text{ mg}/\text{m}^3$ su olor es perceptible, Sin embargo, el gas paraliza rápidamente los nervios olfativos y la nariz ya no detecta nada de él.

El valor MAK es de 10ppm ($15\text{ mg}/\text{m}^3$).

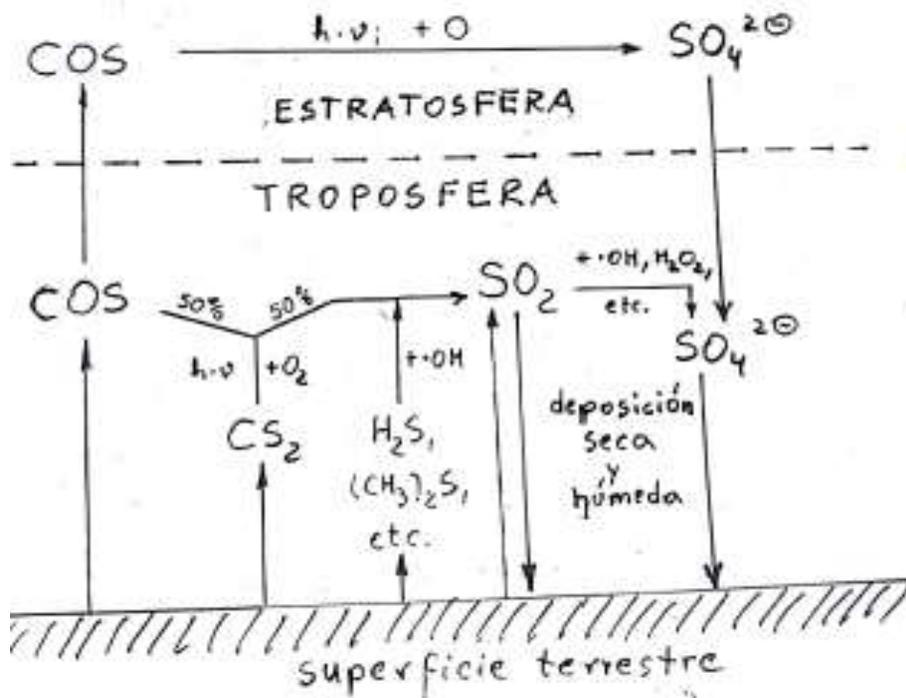
El H_2S es menos soluble en agua que el SO_2 . A una temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ se disuelven 2,61L del gas en 1 L de agua. Otros compuestos con cierta relevancia para el medio ambiente son:

El sulfuro de carbonilo, COS, que es un gas incoloro, tiene un olor muy desagradable y es fácilmente inflamable y el disulfuro de carbono, CS_2 , que es un líquido volátil, venenoso e inflamable más importante de los compuestos de azufre volátiles que salen de los océanos. En el aire sobre el mar se encuentra también en cantidades pequeñas del metilmercaptano.

4.2. Las fuentes y los sumideros, el ciclo de azufre

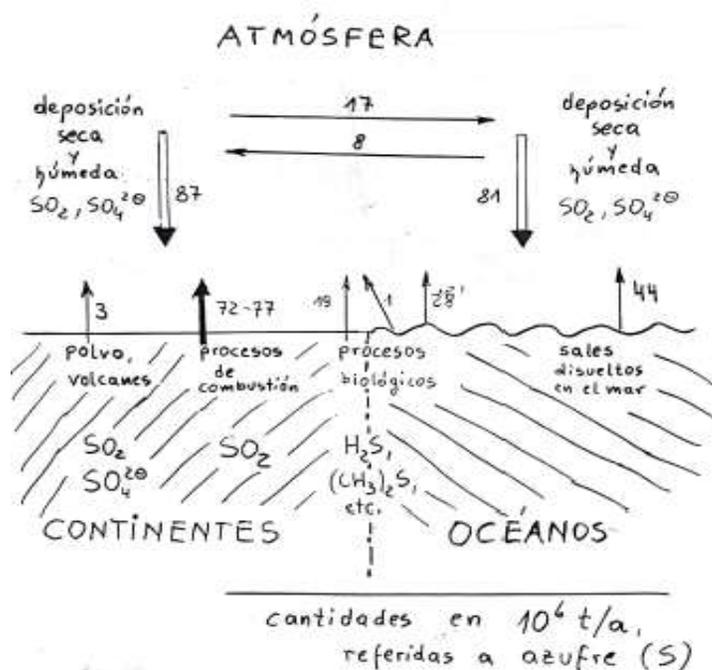
El transporte del azufre en a la naturaleza es realizado en primer lugar por sus compuestos gaseosos.

Figura 46 Dinámica de los compuestos de azufre



Más o menos la mitad de los compuestos de azufre en la atmósfera son los productos oxidados (SO_2 y H_2SO_4/SO_4^{2-}) y provienen en primer lugar de las actividades humanas. Los compuestos que contienen el azufre en su forma reducida (H_2S , CH_3SH , $(CH_3)_2S$, CS_2 y COS) provienen de las fuente naturales, sobre todo de los océanos.

Figura 47 Ciclo atmosférico del azufre



El COS es el compuesto de azufre que tiene el mayor tiempo de vida en la atmósfera (1 año) y tiene segundo lugar en cuanto al contenido de la troposfera (entre 400 y 600 ppm 0).

Como fuentes de COS_2 se consideran: el volcanismo, la oxidación de SO_2 , algunos procesos biológicos y los incendios forestales.

A causa de su largo tiempo de vida y de su insolubilidad de agua (lluvia), hay que buscar los sumideros de COS_2 en los procesos dentro de la atmósfera de la estratosfera que probablemente son reacciones fotoquímicas.

Las fuentes de H_2S , CH_3SH , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ y CS_2 son, sobre todo, los procesos biológicos que suceden bajo condiciones anaeróbicas descomposición microbológica de material orgánico los pantanos los logos de las aguas, en el aparato digestivo de los animales, pero también en los océanos, donde las algas producen el $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ en grandes cantidades. A veces, el H_2S resulta también de las actividades volcánicas punto y aparte los valores elevados de sus gases como que se registran en las zonas muy pobladas como muestran que existen también algunas fuentes antropógenos, en primer lugar, fuentes industriales.

Los compuestos gaseosos del azufre en su estado químico reducido, Como el H_2S , el $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ se, etcétera. Con azufre en la atmósfera oxidación, forma de tal manera que el SO_2 . La primera etapa de oxidación es la reacción con los radicales $\cdot\text{OH}$ dentro de 12 días. En cuanto las etapas de reacción que siguen faltan todavía resultados científicos seguros punto y aparte a partir de CS_2 se forman como en partes iguales como el CO_2 y el SO_2 .

Las emisiones antropógenos de SO_2 globalmente son mayores que las naturales, Aunque en el hemisferio sur la cantidad de las emisiones naturales sobrepasa la de las antropógenas. El petróleo y el carbón pueden contener hasta 4% de azufre. Por lo tanto su combustión causa emisiones de SO_2 entre $106 \cdot 10^6$ y $240 \cdot 10^6$ t/a de la oxidación de los compuestos gaseosos de azufre en su estado (químicamente) reducido provienen entre $80 \cdot 10^6$ y $200 \cdot 10^6$ t/a que probablemente tiene su origen en la descomposición donde la pirita (FeS_2).

Se estima que el 40% del SO_2 regresa a la superficie terrestre sin cambio químico coma en primer lugar con las lluvias y la nieve. El resto (60%), antes de regresar también a la superficie terrestre por deposición seca o húmeda, sufre oxidación, formando el trióxido de azufre (SO_3), a su vez, forma con agua el ácido sulfúrico (H_2SO_4). Estos 2 compuestos de azufre son de importancia para el clima porque ellos influyen sobre la formación de nubes y favorecen la formación de aerosoles.

4.3 Los efectos de los compuestos de azufre

Ya desde hace decenios es bien conocido que existe alguna relación entre la contaminación del aire y la salud. La catástrofe de smog en diciembre de 1952 en Londres provocó que mucha gente tomara conciencia de esta relación. El desde entonces llamado smog de Londres es una de las contaminaciones más desagradables del aire, que se siente directa y fuertemente. La palabra SMOG es una palabra artificialmente compuesta de las palabras ingleses “smok” (humo) y “fog” (niebla).

Se trata de una dispersión de una mezcla de sustancias sólidas y líquidas en el aire que se forma por procesos térmicos y/o químicos, acompañados por un lado por buenas condiciones para condensación y por otro lado por una situación meteorológica de inversión.

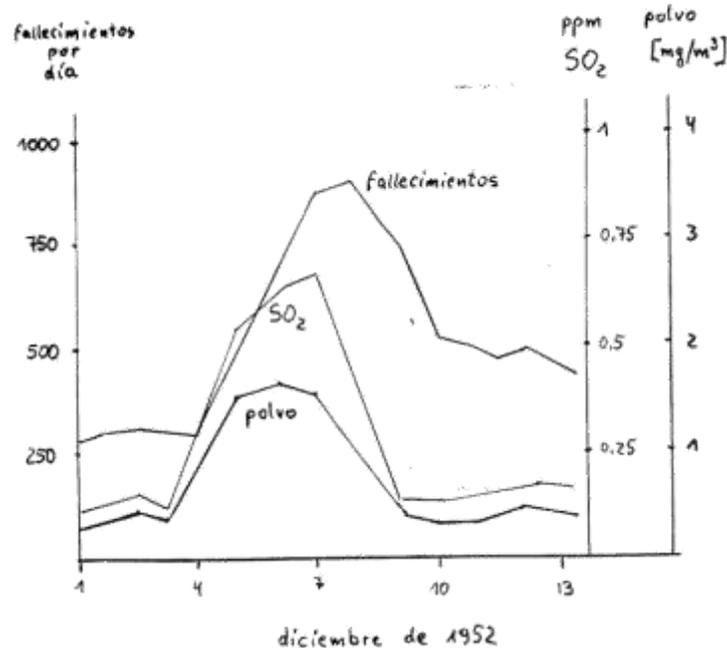
Esta situación meteorológica está caracterizada por un perfil de temperatura anormal a lo largo de la altura de la atmósfera. Normalmente la temperatura dentro de la troposfera baja con altura creciente. Pero a veces, una capa de aire de una temperatura más alta se mueve más arriba del aire frío, impidiendo de tal manera el intercambio vertical del aire normalmente el aire caliente sube y el aire frío baja, lo que causa el proceso de intermezclado).

Así se quedaron todas las emisiones de contaminantes gaseosa y los polvos en la ciudad. En aquel entonces las emisiones normales. En Londres eran. SO_2 : entre 0.07 ppm y 0.23 ppm y polvo: entre 0.12 mg/m^3 y 0.44 mg/m^3 .

Sin embargo, en aquellos días de diciembre de 1952 la emisión de SO_2 Alcanzó. Más de 1.3 ppm ($=3.5 \text{ mg/m}^3$) y la concentración de polvo más de 6 mg/m^3 , es decir, valores más de 10 veces mayores que los de ya muy altos valores “normales”.

La consecuencia fue que mucha gente tuvo problemas respiratorios. Y aumentó el número de los fallecimientos. En el lapso de los 15 días de smog, murieron 4000 personas más de lo ordinario.

Figura 48 Catastrofe de SMOG 1952 en Londres



Los componentes peligrosos de este smog eran el SO₂, el H₂SO₄ y el humo.

El resultado de algunas medidas rigurosas que tomaron las autoridades en los años posteriores a esta catástrofe fue el mejoramiento significativo de la calidad del aire en Londres, los valores máximos registrados en 1972 eran.

SO₂: 0.2 mg/m³ y polvo: 1.2 mg/m³

Una concentración de SO₂ de 0.376 mg/m³ (=1 ppm) causar los primeros síntomas de intoxicación. Las concentraciones entre 400 ppm y 500 ppm causan ya en poco tiempo el peligro de muerte.

Las plantas son todavía más sensibles que el hombre. Ya a partir de 1ppm provocan interrupciones de la fotosíntesis y las hojas se secan. Algunos musgos y líquenes muy sensibles al SO₂ se aplican como bioindicadores.

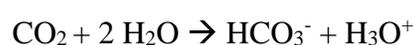
También la influencia negativa del SO₂ sobre objetos es impresionante. Para Alemania se estiman daños anuales de más de 2 mil millones de marcos alemanes, o sea, como más de 1.3, millones de dólares norteamericanos. Notables con la corrosión más rápida de los metales. Y la reacción química del SO₂ con la con la calle de los edificios.

4.4 Las lluvias ácidas y los daños de los bosques

El proceso de auto purificación de la atmósfera más importante es la precipitación de agua en forma de lluvia y nieve. De esta manera resulta el retro transporte de las sustancias solubles en agua hacia la superficie terrestre y los océanos.

Cuanto más finas son las gotitas, tanto mayor cantidad de contaminantes se disuelven. Podemos diferenciar entre 2 posibilidades de la interacción entre los contaminantes y las precipitaciones: o las gotas arrastran los contaminantes (inglés: wash out), o los contaminantes reaccionan ya dentro de las nubes con el agua antes de caer al suelo (inglés:rain out).

Las lluvias "limpias" tienen un pH entre 5 y 5.6, causado por el CO₂ disuelto:



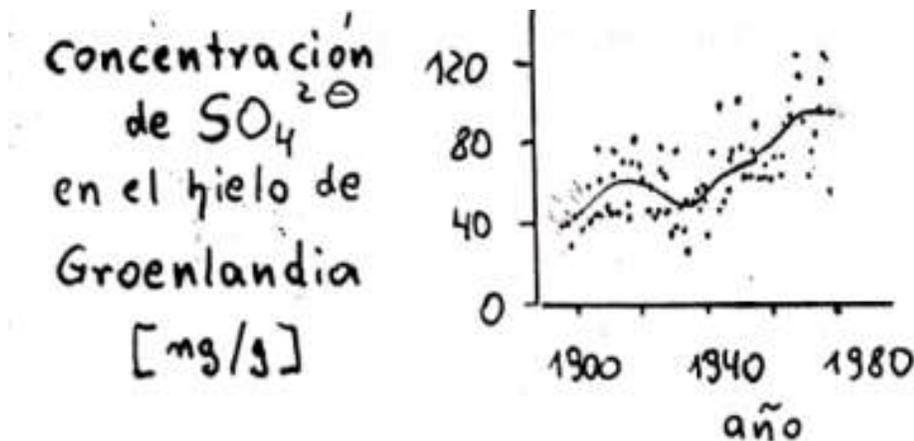
Las lluvias que caen en varias regiones de Estados Unidos, Canadá y Europa del Norte muestran valores del pH entre 4 y 4.5, causados, como el primer lugar, como por los productos de oxidación del azufre.

Contribución de los óxidos de azufre: 83%; los óxidos de nitrógeno: 12%; HCl: 5%.

En estos casos se habla de lluvias acidas.

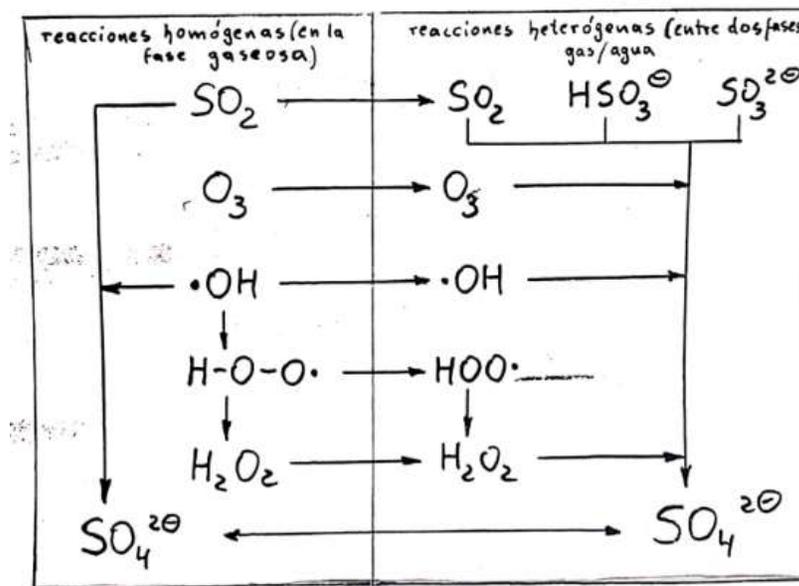
El ácido sulfúrico y los sulfatos de la atmosfera provienen, sobre todo, del proceso de oxidación del SO_2 . El análisis de los núcleos de perforación del hielo en Groenlandia y en la Antártida ha mostrado que la concentración del sulfato en el hemisferio norte creció mucho en los últimos 90 años.

Figura 49 Concentración de sulfatos en el hielo de Groenlandia

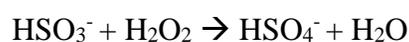


Para la oxidación del SO_2 en la atmosfera existen diferentes posibilidades y caminos.

Figura 50 Rutas para la oxidación de SO_2 .



El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) en la fase acuosa juega un papel importante.



Pero también el ozono (O_3) y los radicales OH^\bullet pueden actuar como oxidantes.

Los daños que las precipitaciones ácidas causan están directamente conectados con el cambio de pH del agua.

La mayoría de los peces. No pueden existir si el pH cambia hacia abajo de 5. Por eso en algunos lagos de Escandinavia ya hay más o menos a partir del año 1980, no hay peces. Estos lagos tienen un fondo de granito y por eso no tienen capacidad de compensar el aumento de la concentración de los iones H_3O^+ (=la disminución del pH).

Con relación al SO_2 , hay que hablar también de los daños (nuevos) de los bosques. Anteriormente, los daños de los bosques eran causados únicamente por el humo. En las cercanías de las instalaciones industriales donde se queman los combustibles fósiles.

El SO_2 causa daños directos a las hojas de las plantas.

Sin embargo, como se observan los daños también en los bosques relativamente lejanos de las fuentes de SO_2 . Las investigaciones relacionadas con este problema poco a poco logran sacar la conclusión de que las causas de los daños consisten a un conjunto de efectos. Aparte del aumento de la concentración de SO_2 , las actividades humanas como a causa un aumento considerable en la concentración de los compuestos de nitrógeno en forma los óxidos de nitrógeno y amoníaco (NH_3).

El exceso de estos compuestos de nitrógeno, que a su vez son nutrientes para las plantas, estimula el crecimiento fuerte de las plantas y de esta manera, el aumento de su consumo de agua y de otros nutrientes, sobre todo los minerales (Ca, Mg, K).

Pero la concentración de estos minerales en el suelo, causada también por las lluvias ácidas como ha bajado mucho los últimos años. Además, los cambios climáticos como sobre todo el efecto invernadero han causado en épocas de lluvias.

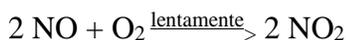
Todo este conjunto y la presencia, otros contaminantes, produce para los árboles una situación de estrés lo que causa enfermedades graves.

5 Los compuestos gaseosos de Nitrógeno

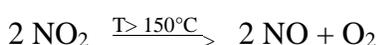
5.1 Las propiedades

De los numerosos óxidos de nitrógeno sólo El óxido de dinitrógeno (N_2O), el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) son de importancia para los procesos químicos que pasan en el medio ambiente. Sin embargo, estos tres óxidos contribuyen considerablemente a la contaminación del aire. El N_2O es un gas incoloro, mucho más denso que el aire, tiene olor ligeramente dulzón y es poco soluble en agua (una unidad volumétrica de agua disuelve más o menos una unidad volumétrica del gas). El N_2O mantiene la combustión.

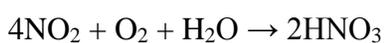
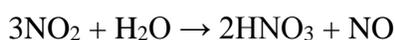
Su inhalación causa estados de borrachera y risas convulsivas (gas hilarante). Se utiliza en la medicina como gas anestésico. El NO también es un gas incoloro, es tóxico, no es inflamable y su densidad es un poco más alta que la del aire. En el aire limpio, es decir, en ausencia de los oxidantes más reactivos O_3 , $\cdot\text{O}\text{-OH}$, etc., el NO se oxida lentamente a NO_2 :



Bajo estas condiciones, a temperaturas no muy altas, su tiempo de vida es de 182 días. El NO_2 es un gas de color pardo-rojizo con un olor característico. Es un agente oxidante fuerte y químicamente muy agresivo. El NO_2 es tóxico arriba de los 150°C , el NO_2 empieza a descomponerse formando el NO en una reacción inversa a la de su generación:



El NO_2 es soluble en agua y reacciona con agua formando de esta manera el ácido nítrico (HNO_3). Esta transformación tiene lugar tanto en presencia de oxígeno como en su ausencia:



En la literatura, cuando se habla de los óxidos de nitrógeno NO y NO₂, frecuentemente se habla de NO_x. La concentración de NO_x es la suma de las concentraciones de estos dos óxidos de nitrógeno.

A veces también se usa la fórmula NO_y. Esto significa la suma de las concentraciones de NO_x más las concentraciones de todos los compuestos gaseosos de nitrógeno en su estado oxidado, los cuales pueden actuar como fuentes o sumideros para los NO_x:

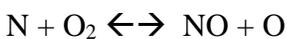
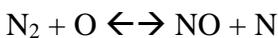
NO	Monóxido de nitrógeno
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
N ₂ O ₅	Pentóxido de dinitrógeno
NO ₃	Trióxido de nitrógeno
HNO ₃	Ácido nítrico
HNO ₄	Ácido peroxinítrico
ClONO ₂	Nitrato de cloro
CH ₃ C(O)O ₂ NO ₂	Nitrato de peroxiacetilo (PAN)

El N₂O no forma parte de este conjunto de compuestos gaseosos porque es un compuesto inerte en la troposfera y allá no actúa como fuente de los NO_x.

Únicamente en la estratosfera el N₂O es fuente de NO.

La comparación de los sistemas químicos CO/CO₂ y NO/NO₂ en la atmósfera muestra que las concentraciones de CO (entre 30 ppb y 250 ppb) y de NO (entre 5 ppb y 100 ppb) son comparables, mientras que la concentración de NO₂ (entre 10 ppb y 100 ppb) es mucho menor que la del CO₂ (~ 360 ppm). La causa es, como ya mencionamos, que el NO₂ no es estable a temperaturas elevadas y por eso no se forma ni en los procesos de combustión ni en los relámpagos. En estos procesos solo se forma el NO.

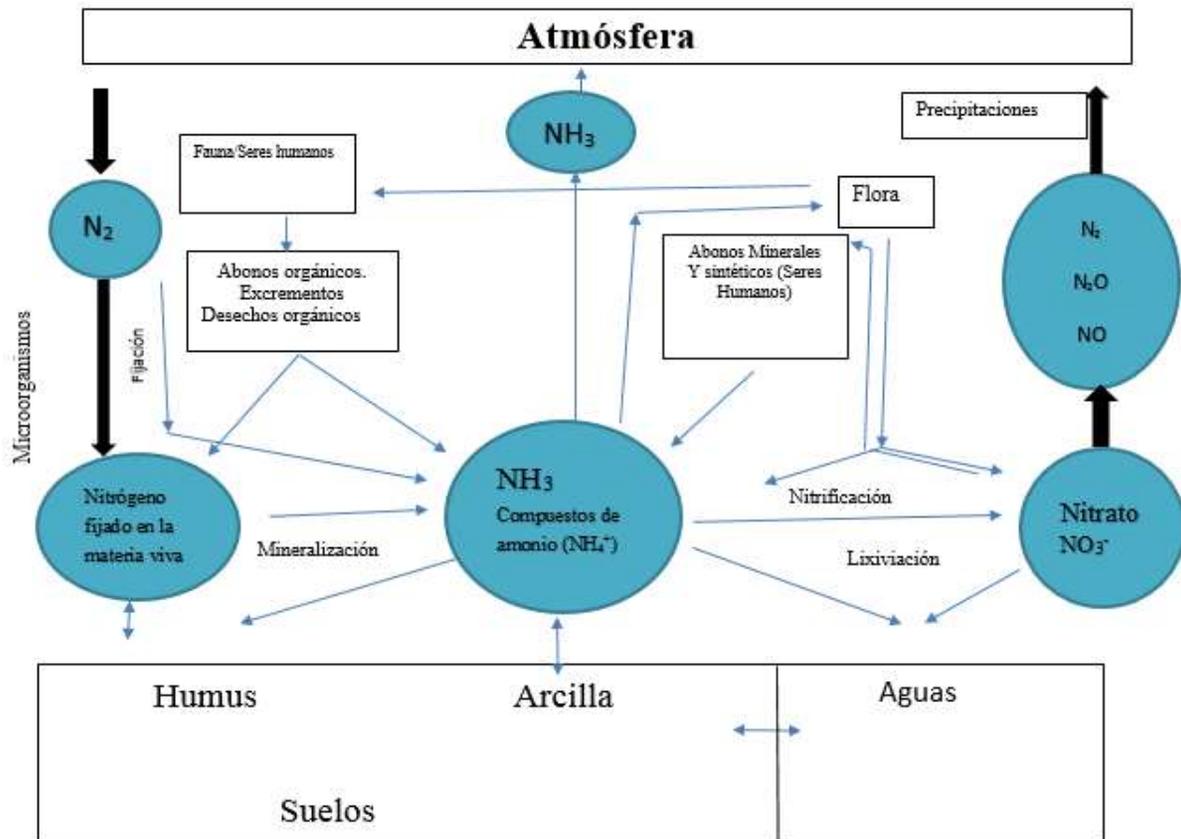
En las combustiones hay dos posibilidades para la formación de NO, o a partir del nitrógeno químicamente fijado en los combustibles o a partir del nitrógeno del aire. El segundo caso tiene lugar a temperaturas arriba de 1000 °C y empieza con la disociación de una molécula de oxígeno formando dos átomos de oxígeno que son más reactivos:



La cantidad formada de NO crece con la temperatura. La misma reacción de formación del NO ocurre en los relámpagos.

Aparte de los óxidos de nitrógeno existen otros compuestos gaseosos del nitrógeno. El más importante en la atmósfera es el amoníaco (NH₃) que es un compuesto con propiedades básicas. El amoníaco es un gas incoloro, tiene un olor típico y, en concentraciones elevadas, penetrante. Su solubilidad en agua es alta (529 g/L a una temperatura de 20 °C). El amoníaco proviene, en primer lugar, de la descomposición de la materia orgánica por procesos microbiológicos, de la descomposición de los fertilizantes que son sales de amonio y de algunos procesos industriales.

Figura 51 El ciclo de Nitrógeno



5.2 El ciclo natural de Nitrógeno

La mayor cantidad de nitrógeno terrestre se halla en su forma elemental como molécula N_2 . Los únicos minerales importantes, que contienen nitrógeno, son los nitratos de potasio (salitre) y de sodio (salitre de Chile) que se usan como fertilizantes.

En el suelo hay bacterias anaeróbicas que pueden transformar los nitratos en los óxidos NO y N_2O o en nitrógeno elemental. Este proceso se llama desnitrificación. De esta propiedad de tales bacterias se aprovecha en la etapa anaeróbica del tratamiento de aguas residuales para disminuir el contenido de nitrógeno.

En las selvas tropicales, el proceso de desnitrificación es una de las fuentes más importantes del N_2O (se forma 10 veces más que en suelos normales).

Por otro lado, estas bacterias no son favorables para la agricultura porque quitan buena parte del abono de nitrato. Las bacterias que viven a base de la desnitrificación se encuentran también en el mar.

Las reacciones de transformación del químicamente muy estable nitrógeno en más compuestos más reactivos y biológicamente disponibles se llama fijación de nitrógeno o asimilación de nitrógeno. En el suelo y en el mar existen bacterias y algas que transforman grandes cantidades de N_2 en NH_3 , NH_4^+ y compuestos orgánicos de nitrógeno. Este proceso se llama fijación biológica de nitrógeno. Anualmente los procesos biológicos transforman entre $100 \cdot 10^6$ t y $200 \cdot 10^6$ t de nitrógeno elemental a compuestos de nitrógeno.

En los relámpagos la energía es suficientemente alta para generar los más reactivos átomos de oxígeno que a su vez oxidan las normalmente muy estables moléculas de nitrógeno. Este proceso se llama fijación química de nitrógeno. Algo semejante pasa como reacción lateral durante la combustión de los combustibles fósiles y de la gasolina. De esta manera se transforman anualmente más o menos $25 \cdot 10^6$ t de nitrógeno en NO_x .

De gran importancia es también la fijación industrial de nitrógeno. En los procesos químicos industriales se transforman anualmente $82 \cdot 10^6$ t de nitrógeno elemental en amoníaco y éste a su vez en fertilizantes de nitrógeno. Se estima que esta cantidad corresponde del 30 % hasta el 40 % de todo el nitrógeno fijado.

El nitrógeno fijado es transformado por las plantas en las proteínas vegetales que en parte a su vez son comidas por los animales y los seres humanos para transformarse en proteínas animales y humanas. Al revés, la descomposición microbiológica del material biológico muerto forma a partir de las proteínas el nitrógeno elemental, el N_2O o el amoníaco que salen a la atmósfera.

5.3 El Óxido de dinitrógeno (N_2O), sus fuentes y sumideros

El N_2O tiene en la atmósfera un tiempo de vida de 150 años. Su distribución global es casi homogénea. El contenido atmosférico del N_2O es de $2350 \cdot 10^6$ t.

El N_2O se forma en grandes cantidades por la descomposición microbiológica de la biomasa en los suelos y en las aguas.

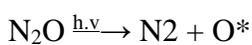
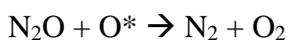
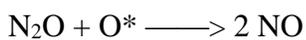
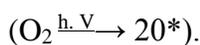
Tabla 20 Fuentes y sumideros del N_2O

Fuentes y sumideros del N_2O	
Fuentes naturales	Flujos [10^6 t/a]
Océanos, lagos	2.0 --- 4.0
Suelos	4.6 --- 8.2
Fuentes antropógenas	
Combustibles Fósiles (cat de autos)	0.2 --- 0.5
Combustión de biomasa	0.2 --- 2.4
Abonos minerales y sintéticos	1.0 --- 3.6
Sumideros	
Degradación fotoquímica en la estratosfera	≈ 20.5
Metabolismo de microorganismos en el suelo y agua	desconocido

Se considera las emisiones de los suelos tropicales como la fuente de N_2O más importante. El hecho de la sobresaturación del agua superficial del Atlántico Norte en cuanto a su contenido de N_2O muestra, que también hay fuentes importantes en los océanos.

Los análisis del hielo polar han mostrado que, a partir de la era de la industrialización, la concentración atmosférica del N_2O ha crecido de 285 ppb a actualmente 310 ppb y crece todavía anualmente por el 0.2-0.3 %.

En la troposfera el N_2O prácticamente es inerte. No existe ninguna reacción química que sirva para su degradación. Por eso se considera como sumidero de N_2O únicamente la descomposición fotoquímica en la estratosfera, o directa o por los átomos de oxígeno excitados O^* .



$$\lambda < 240 \text{ nm}$$

De esta manera el N_2O es la fuente principal para el NO en la estratosfera. El crecimiento de la concentración del N_2O tiene dos consecuencias

1. En la estratosfera se forman más NO_x , los cuales contribuyen como catalizadores en la descomposición de la capa de ozono, La duplicación de la concentración del N_2O puede causar la disminución de la concentración del ozono en el 10 %.

2. El efecto invernadero crecerá. La contribución del N_2O al efecto invernadero adicional es del 5 %.

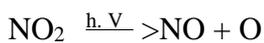
Como causa principal del crecimiento de la concentración del N_2O se considera el uso de los fertilizantes de nitrógeno en la agricultura (un tercio) y la combustión de biomasa en las regiones tropicales.

5.4 El equilibrio de los NO_x , las fuentes y los sumideros

Para el equilibrio entre los óxidos de nitrógeno NO y NO_2 la descomposición fotoquímica del NO_2 juega un gran papel.

Dentro de la atmósfera inferior, la radiación electromagnética en la región entre los 300 nm y 1500 nm (luz y radiación infrarroja) únicamente es absorbida por el SO_2 y el NO_2 . De estos dos gases sólo la fotólisis del NO_2 es de importancia.

En un primer paso fotoquímico se forma un átomo de oxígeno:



$$\lambda < 420 \text{ nm}$$

Los átomos de oxígeno son muy reactivos. En el momento de su generación ellos encuentran en sus alrededores únicamente las moléculas de nitrógeno (N_2), que son relativamente inertes, y las moléculas del oxígeno (O_2), que son más reactivas que el nitrógeno.

En presencia de una tercera molécula de cualquier tipo (M), que sirve para aceptar y dispersar el exceso de energía, el átomo de oxígeno reacciona rápidamente con una molécula de oxígeno formando como producto una molécula de ozono:

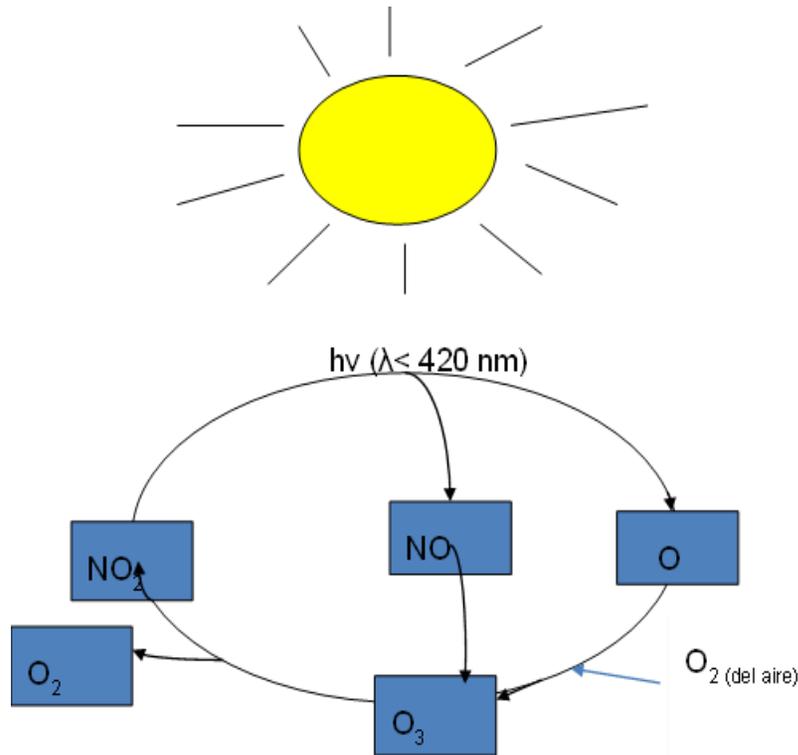


(Sin la ayuda de la tercera molécula M, el ozono se descompone inmediatamente en el sentido inverso de esta ecuación. La molécula M dispersa la energía por choques con otras moléculas. De tal manera, la energía de los fotones es transformada en energía química y calorífica).

El ozono es un oxidante fuerte y reactivo. Por eso él puede reaccionar con el NO y transformarlo de nuevo en NO_2 :



El conjunto de estas reacciones forma un equilibrio fotoquímico dinámico en el cual continuamente los dos óxidos de nitrógeno son transformados uno en el otro sin que cambie su concentración sumaria (NO_x). Tampoco cambia la concentración del ozono por este equilibrio, si no participan otras sustancias.

Figura 52 Equilibrio fotoquímico entre los Nox, Oxígeno y Ozono

Aunque la concentración del N_2O en la atmósfera es mayor que la del NO y la del NO_2 , con referencia a la contaminación del aire se habla más de los dos últimos. Las causas son:

- Los NO y NO_2 son tóxicos, el N_2O no lo es;
- Los NO y NO_2 , a diferencia del N_2O , participan en importantes reacciones fotoquímicas en la troposfera;
- El tiempo de vida de los NO y NO_2 en la troposfera contaminada es corto (más o menos un día), el del N_2O es de 150 años;
- Los NO y NO_2 tienen fuentes antropógenas importantes, el N_2O no las tiene.

La fuente de los NO_x más importante en la troposfera es la combustión de los combustibles fósiles. En los países industrializados el 75 % resulta de los motores de los automóviles y de los aviones. La concentración de los NO_x en el aire limpio, p.ej. sobre el océano, es de 1 ppt. El aire contaminado, p.ej. sobre Europa o la parte oriente de los EEUU, puede contener hasta 10 ppb (10 000 veces más). En las ciudades grandes se observan valores máximos entre 100 ppb y 200 ppb. En las calles con mucho tránsito vehicular es posible medir concentraciones mayores que 1000 ppb (!).

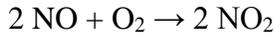
Tabla 21 Fuentes y sumideros importantes de los NO_x .

Fuentes de NO_x en la troposfera	
Fuentes naturales	Flujo [10^6 t/a]
Transporte de la estratosfera	1 ± 0.5
Relámpagos	5 ± 3
Suelos	10 ± 5
Fotooxidación de NH_3	3 ± 2
Fuentes antropógenas	
Combustibles fósiles (tráfico 45%)	20 ± 7
Combustión de biomasa (incendios no naturales 96%)	7 ± 3
Fertilización	2 ± 1
Transformación microbiológica de urea (cría de animales en gran escala)	2 ± 1

Tabla 22 Tiempo de vida del NO en la troposfera

Tiempo de vida del NO en la troposfera					Tiempo de vida
NO	+	O ₃	→	NO ₂ + O ₂	1 min
NO	+	•O-O-H	→	NO ₂ + •OH	20 min
NO	+	•O-O-R	→	NO ₂ + •OR	2 h
NO	+	•OH (+M)	→	NO ₂ (+M)	27 h
2NO	+	O ₂	→	2NO ₂	182 d

Bajo las condiciones del aire limpio, el NO tiene el tiempo de vida de 182 días y se transforma muy lentamente en NO₂:

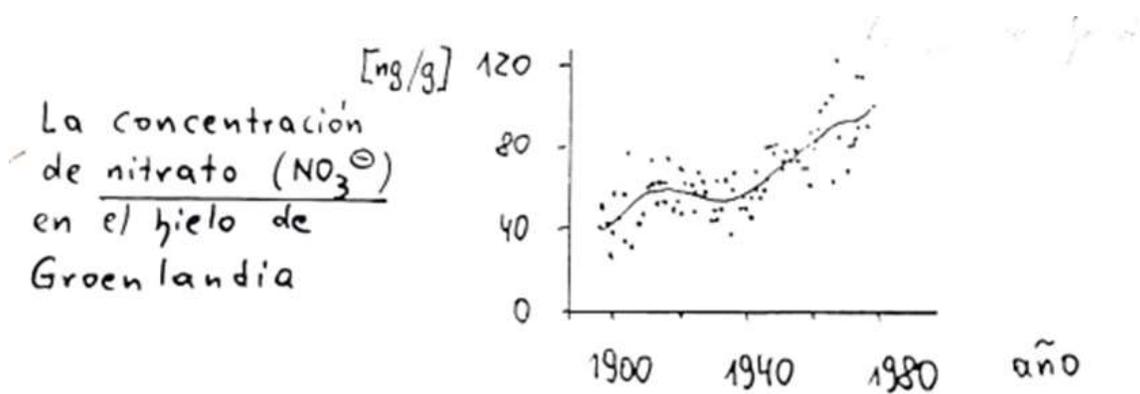


Sin embargo, en presencia de partículas muy reactivas, como p. ej. los radicales OH, O-O-Ry-O-O-H y aún el ozono, el tiempo de vida del NO disminuye considerablemente. Estas reacciones no son reacciones de degradación verdaderas del NO porque el NO₂ formado sufre fotodisociación (como ya arriba se mencionó) dentro de sólo 2 minutos y regenera de esta manera el NO. Una interrupción de este ciclo puede ser la formación del ácido nítrico según la reacción:



En la cual M otra vez es alguna molécula que sirve para aceptar el exceso de la energía alta de los radicales -OH. El ácido nítrico sale de la atmósfera o directamente con las lluvias o reacciona primero con algún gas básico, p. ej. con el amoníaco, formando nitratos que a su vez pueden formar los llamados aerosoles.

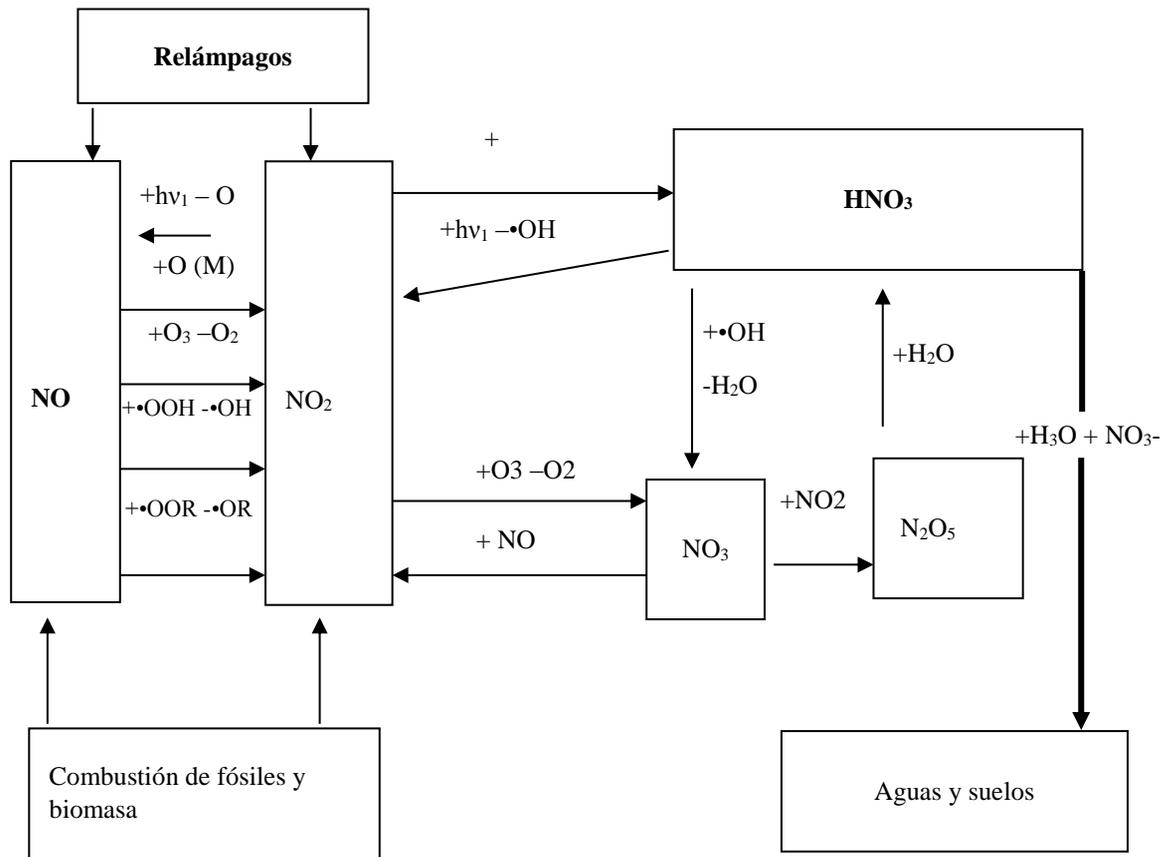
El análisis del contenido de los nitratos en las precipitaciones da informaciones sobre la concentración de los NO_x en la atmósfera. Así fue posible comprobar, por medio del análisis del contenido de nitratos en hielo polar, que la industrialización y sobre todo el tráfico vehicular han causado el aumento considerable de los nitratos en el hemisferio norte.

Figura 53 Concentración de NO₃⁻

En el hemisferio sur no se observó lo mismo porque no hay fuentes grandes de los NO_x y su tiempo de vida en la atmósfera dura muy poco tiempo para lograr su translación hacia el hemisferio sur. Alrededor del 60 % de las emisiones de NO son causadas por las actividades humanas. Más o menos la mitad de los NO_x es depositada directamente a partir de la fase gaseosa, la otra mitad es depositada después de su transformación al ácido nítrico. De esta manera los óxidos de nitrógeno NO y NO₂ contribuyen con más del 10 % a las lluvias ácidas.

El esquema siguiente muestra las fuentes y los sumideros de los NO_x y las reacciones químicas que forman parte de este sistema. Falta la participación del N₂O (estable en la troposfera) y la del amoníaco (NH₃).

Figura 54 Reacciones de los compuestos de nitrógeno en la atmósfera



5.5 La influencia de los NO_x sobre los seres vivos

Las concentraciones normales del NO en la atmósfera no causan ningunos daños y en estas concentraciones el NO no es perceptible.

El NO₂, por otro lado, puede olerse a partir de concentraciones de 0.1 ppm, si no hay un aumento lento que cause un efecto de habituación. A causa de su buena solubilidad en agua y la formación del ácido nítrico, el NO₂ causa edemas en los pulmones. Las concentraciones arriba de 100 ppm son mortales para los seres humanos y la mayoría de los animales. La influencia de concentraciones más bajas por largo tiempo causa para los animales (¿y los seres humanos?) disminución en la velocidad de crecimiento y disminución en el peso corporal.

Los valores MIK para NO₂ son:

- Valor medio para la influencia durante 1/2 hora: 0.2 mg/m³ aire
- Valor medio para la influencia durante 24 horas: 0.1 mg/m³ aire.

Existen numerosas plantas que son mucho más sensibles al NO₂ que los seres humanos. Los resultados negativos son la disminución del crecimiento de las hojas, la disminución del peso seco y en los cultivos la disminución del rendimiento.

6 Los compuestos químico-orgánicos volátiles

6.1 Vista general

Los compuestos orgánicos volátiles (VOC) que tienen importancia para el medio ambiente esencialmente son los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, los alcoholes, los aldehídos y las cetonas. En cuanto a las emisiones, los hidrocarburos son los más importantes.

Cuanto más larga es la cadena de los átomos de carbono, tanto más reactivo es el compuesto en la atmósfera. Los compuestos con reactividad lenta tienen un tiempo de vida mayor de 7 días; los compuestos reactivos persisten entre 0.5 y 7 días y los muy reactivos tienen un tiempo de vida de pocas horas y menos. El hidrocarburo más resistente es el metano (CH₄). Por eso, en la química de la atmósfera se diferencia entre el metano y los hidrocarburos no-metánicos (inglés: Nonmethane Hydrocarbons: NMHC).

La tabla siguiente muestra para algunos compuestos orgánicos volátiles sus concentraciones globales, sus concentraciones en las aglomeraciones urbanas y sus tiempos de vida.

Tabla 23 Concentración y tiempo de vida de algunos VOC's en zonas urbanas

Compuesto	Concentración (ppm)	Tiempo de vida (Días)
Metano	1600-1700	1500(4a)
Etano	0.1-100	61
Propano	5-100	11
Etino	10-500	13
Eteno	10-150	1.9
Propano	20-70	0.4
Benceno	0.05-200	14
Tolueno	0.1-150	2.8
Formaldehído	1-150	0.9
Acetaldehído	1-50	0.6
Metanol	0.5-50	15
Etanol	1-50	5.9

Se ve que en las zonas urbanas grandes las concentraciones generalmente son mayores y, aparte del metano, el etano, el eteno, el etino y el benceno son los más abundantes. Las causas son las emisiones de disolventes de origen industrial y de las casas y, sobre todo y de un volumen mayor, las emisiones del tráfico vehicular.

Si no hay viento o bajo condiciones meteorológicas de inversión, en los centros de las ciudades se observan a veces concentraciones entre 10² y 10³ veces mayores que en las zonas rurales. Las concentraciones totales de los compuestos orgánicos volátiles pueden alcanzar valores arriba de 1000 µg/m³ (1µg = 10⁻⁶g).

En la atmósfera de las ciudades, los compuestos con uno o dos átomos de carbono son los de concentraciones mayores.

La mayoría de los hidrocarburos no son tóxicos para las plantas. Los hidrocarburos alifáticos afectan directamente a los seres humanos a partir de concentraciones que son entre 100 y 10000 veces más altas que las concentraciones en la atmósfera, mientras que los hidrocarburos aromáticos volátiles y especialmente el benceno son peligrosos porque pueden causar el cáncer.

6.2 El metano

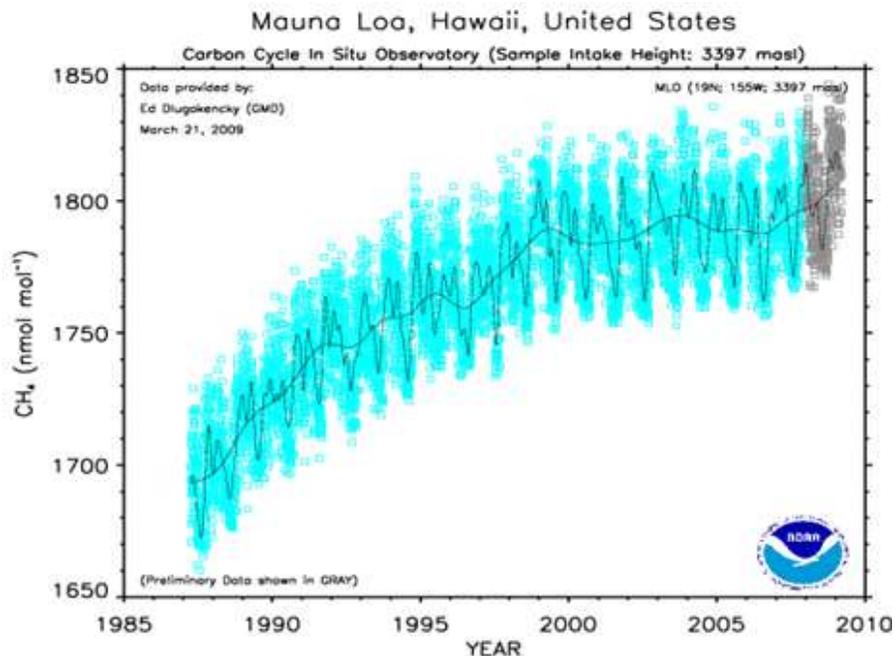
Existen muchas fuentes de metano, pero las dimensiones de las emisiones particulares todavía no son muy bien conocidas. Hay resultados de investigaciones detalladas para los océanos y los arrozales. Todas las demás son estimaciones con muchas inseguridades.

Tabla 24 Fuentes y sumideros del metano en la troposfera

Fuentes y sumideros del metano en la troposfera	
Fuentes naturales	Flujo [10^6 t/a]
Zonas muy húmedas	115
Océanos	10
Lagos	5
Tierras congeladas derretidas	5
Termitas (y otros insectos)	40
Fermentación (ruminantes silvestres)	5
Fuentes antropógenas	
Arrozales	130
Fermentación (ruminantes domésticos)	75
Combustión de biomasa	40
Vertederos	40
Gas natural (pérdidas)	30
Minería de carbón	35
Otras fuentes fósiles	55
Sumideros	
Reacción con \bullet OH en la troposfera	500
Fotodegradación en la estratosfera	40
Degradación por microorganismos en el suelo	6

El contenido actual de metano en la atmósfera es de 4.9×10^9 t. Las fuentes de metano tienen que ser grandes porque a pesar del tiempo de vida relativamente corto de 4 años se observa un aumento anual de la concentración de metano en la atmósfera de más o menos 1 %.

Las mediciones del contenido de metano en los núcleos de perforaciones del hielo han mostrado que la concentración atmosférica de metano en el tiempo preindustrial fue alrededor de 0.7 ppm. Los valores actuales para el hemisferio norte son alrededor de 1.8 ppm y para el hemisferio sur alrededor de 1.7 ppm. De una perforación del hielo en la Antártida se reconstruyó el desarrollo de la concentración del metano en la atmósfera durante los últimos 160 000 años.

Figura 55 Concentración del metano

Es interesante que hay cierta semejanza en el desarrollo de la concentración del metano, del CO_2 y de la temperatura. La correlación con la temperatura seguramente depende de que las actividades biológicas (= fuentes de metano) crecen con la temperatura.

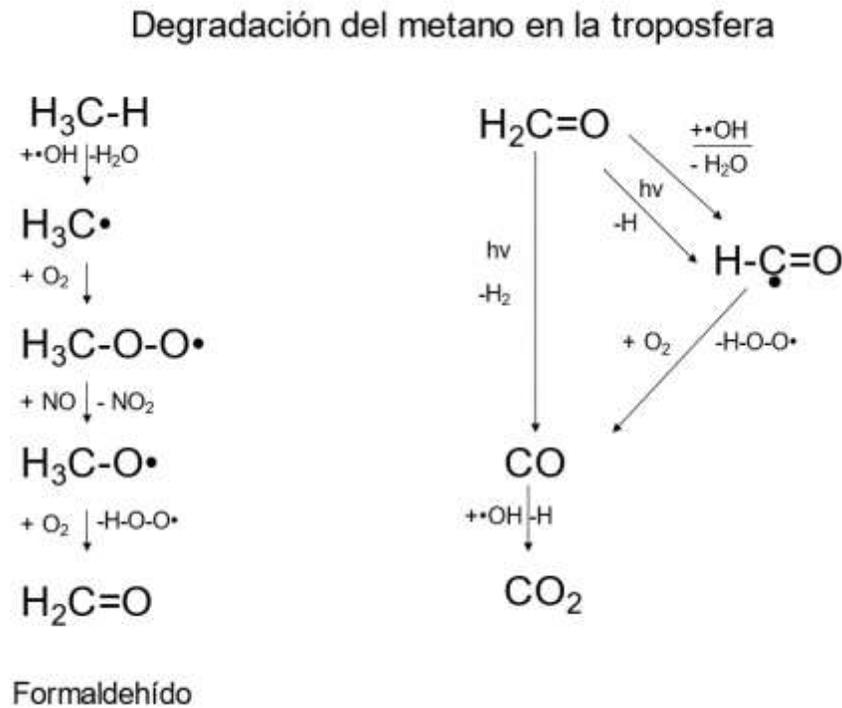
Muy importante es el enorme crecimiento de la concentración del metano en los últimos años. Las causas para este crecimiento son:

- El crecimiento de los cultivos de arroz, de la ganadería y de la descomposición de la biomasa,
- La explotación de carbón,
- Las emisiones de los vertederos de basuras,
- Las pérdidas durante la explotación de gas natural y de petróleo,
- Las pérdidas durante el abastecimiento con gas natural.

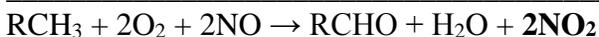
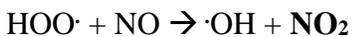
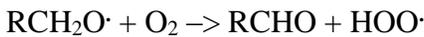
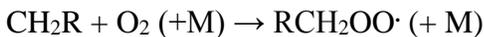
Casi el 90 % del metano atmosférico viene de la degradación de las sustancias y productos más nuevos por los microbios anaeróbicos.

Para el metano existe prácticamente un solo sumidero que es la reacción con los radicales $\cdot\text{OH}$. Esta reacción a la vez es la más importante para el balance de los radicales $\cdot\text{OH}$.

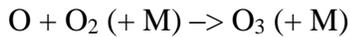
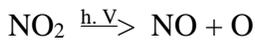
Figura 56 Degradación del metano.



En presencia ya de cantidades pequeñas de NO , se forma como producto intermedio el formaldehído $\text{H}_2\text{C=O}$ (= HCHO) y como producto de un conjunto de reacciones secuenciales el ozono (O_3). De esta manera, los hidrocarburos y su degradación oxidativa en la atmósfera están directamente conectados con los ciclos de nitrógeno y ozono(!).



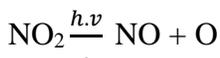
(para el metano: $\text{R}=\text{H}$; para otros compuestos orgánicos: $\text{R}=\text{el resto de la molécula}$) Se ve que, de una molécula de metano, aparte del formaldehído, se forman dos moléculas de NO_2 . Teniendo en cuenta el equilibrio fotoquímico



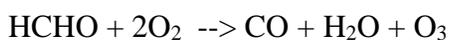
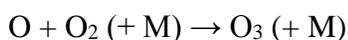
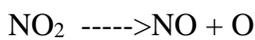
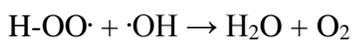
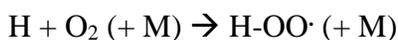
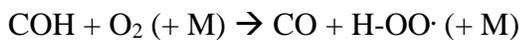
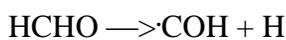
del cual resulta la formación de una molécula de ozono a partir de cada molécula de NO_2 se ve también que de la oxidación de cada molécula de metano al formaldehído resultan dos moléculas de ozono (!!!). La ecuación sumaria de este proceso de oxidación es:



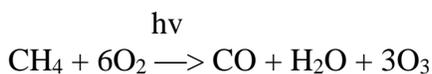
El formaldehído todavía no es el producto final, sino el puede ser oxidado (fotoquímicamente), finalmente hacia el CO_2 .



Como estas reacciones también ocurren en presencia de NO , el resultado (lateral) es la formación de todavía más ozono.



Si se toman en cuenta todas estas reacciones, entonces de cada molécula de metano, durante el proceso de su oxidación, resultan tres moléculas de ozono.



Si se toma en cuenta que la molécula del metano contiene un solo átomo de carbono mientras que las moléculas de los otros hidrocarburos están formadas por más átomos de carbono, entonces es impresionante la cantidad del ozono que puede formarse por la (foto)degradación oxidativa de los compuestos orgánicos volátiles.

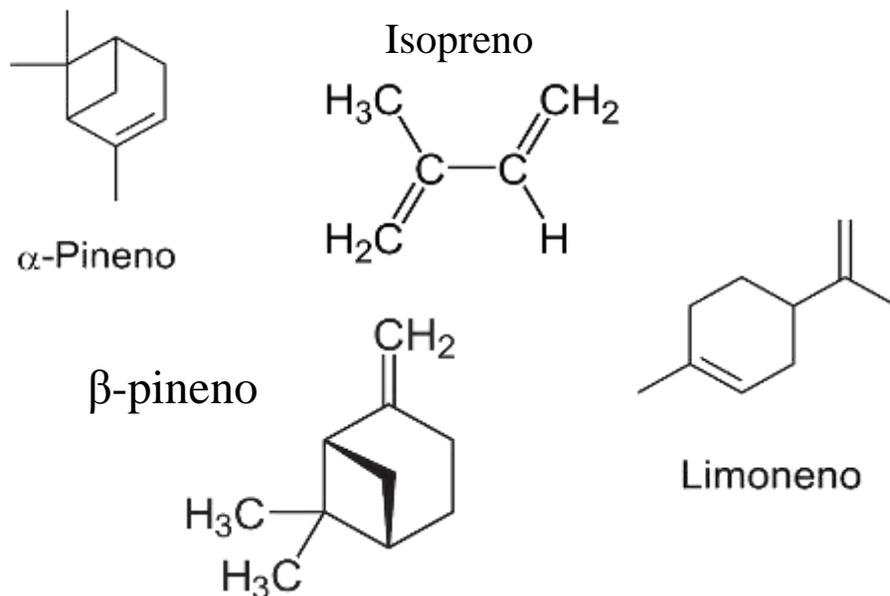
El CO formado por esta cascada de reacciones causa entre el 20 % y el 50 % del contenido de CO en la atmósfera.

Los radicales $\cdot\text{OH}$ tienen una posición clave para la oxidación del metano porque inician la cascada de reacción. Se supone que su concentración en la troposfera es constante. Si aumenta la concentración de otros contaminantes, quizás más reactivos que el metano, entonces ya no hay una cantidad de estos radicales suficientemente grande para oxidar todo el metano. Esto también puede ser una de las causas para el crecimiento lento de la concentración de metano en la atmósfera.

6.3 Los hidrocarburos no-metánicos

Las emisiones de estos hidrocarburos son alrededor de 1000×10^6 t por año. Las emisiones naturales provienen sobre todo de la vegetación y su cantidad no es muy bien conocida y se estima entre 600×10^6 y 1200×10^6 t por año. Químicamente se trata del isopreno y de los terpenos. Los terpenos son compuestos cíclicos con el doble del peso molecular del isopreno.

Figura 57 Estructuras químicas de los terpenos



Debido a los dobles enlaces dentro de estas moléculas, ellas son más reactivas que el metano u otros hidrocarburos.

De los vehículos como fuente de hidrocarburos no-metánicos provienen anualmente entre 30×10^6 t y 50×10^6 t y del uso de disolventes entre 10×10^6 t y 20×10^6 t. Su degradación sucede muy semejante a la del metano.

6.4 Los fotooxidantes

Los hidrocarburos forman en la atmósfera, por reacciones fotoquímicas, los llamados fotooxidantes (u oxidantes fotoquímicos). Ellos pertenecen a los más importantes contaminantes secundarios del aire. El más abundante es el ozono. Aparte de él son conocidos.

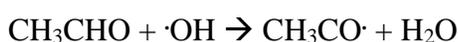
El nitrato de peroxiacetilo (PAN), $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$,

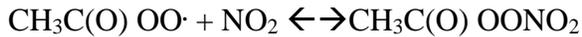
El nitrato de peroxipropionilo (PPN), $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$,

El nitrato de peroxibenzoilo (PBzN) y algunos otros $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$

Los fotooxidantes se forman bajo la influencia de la luz solar en presencia de los NO_x . Otra fuente importante es el CO, lo que, bajo condiciones atmosféricas adecuadas, también puede formar el ozono. El ozono es un gas incoloro, muy reactivo y venenoso, y es el fotooxidante que se halla en la atmósfera en concentraciones más altas que los otros. Su nombre viene del griego (*ozein* = oler a algo). Pero, probablemente no tiene olor propio sino el olor típico, que se percibe todavía en una dilución 1: 10^8 , podría ser el olor del NO_2 que siempre se forma a partir del NO en presencia del ozono. El ozono es un oxidante muy fuerte.

Después del ozono, el fotooxidante más abundante es el nitrato de peroxiacetilo (PAN). Se forma como producto de la oxidación del acetaldehído en presencia de NO_2 :





De tal manera, el PAN puede ser un sumidero temporal para el NO_2 . Durante la noche no sufre descomposición y es transportado a lugares lejanos de las fuentes del acetaldehído. Durante el día se descompone y es fuente de NO_2 .

Los compuestos peroxi PAN, PPN y PB_2N son muy reactivos, venenosos e irritantes para los ojos y las vías respiratorias. Ya en concentraciones de 10 ppb ellos causan daños a las plantas en el transcurso de pocas horas porque destruyen los sistemas enzimáticos. Regresamos al ozono de la troposfera: Por causa de su participación muy diferente en las reacciones en la troposfera y en la estratosfera es conveniente diferenciar entre las dos áreas.

Más o menos el 10% de todo el ozono atmosférico se encuentra en la troposfera. Su concentración crece continuamente. Hace 100 años las concentraciones tenían valores entre 7 ppb y 10 ppb. Entre 1978 y 1990 se observó, en las regiones de la atmósfera que están cerca del suelo, un crecimiento de la concentración del ozono de 40 ppb a 50 ppb. Es interesante que la concentración creció más rápido en las zonas rurales y en las áreas con aire limpio que en las aglomeraciones urbanas.

La concentración del ozono en la troposfera depende mucho de la hora del día. Los valores máximos se observan durante el mediodía. En Los Ángeles (EEUU), la llamada capital del FOTOSMOG, se registraron valores hasta 580 ppb ($1160 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La tabla que sigue muestra las fuentes y los sumideros del ozono en la troposfera:

Tabla 25 Fuentes y sumideros de ozono en la troposfera

Fuentes y sumideros de ozono en la troposfera	
Fuentes	Flujo [10^6 t/a]
Transporte vertical de la estratosfera	1220
Oxidación de CO, CH_4 , y HCNM	5130
Sumideros	
Deposición seca en la superficie terrestre (oxidación de sustancias)	1420
Reacciones químicas en la troposfera	
Formación de radicales $\cdot\text{OH}$	2260
Pérdida de O^*	25
Reacción con el NO	140
Reacción con el NO_2 en la noche	30
Reacción con alquenos	175
Reacción con radicales $\cdot\text{OH}$ y $\cdot\text{OOH}$	2300

Los sumideros de ozono son, por un lado las reacciones químicas en las cuales, el ozono actúa como oxidante de otros compuestos de la materia muerta y viva en la superficie terrestre y, por otro lado, son reacciones dentro de la troposfera. Algunas de las últimas reacciones empiezan con la fotodegradación del ozono causada por la luz ultravioleta de longitudes de onda menores de 310 nm.

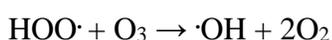
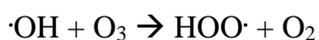


$$\lambda < 310 \text{ nm}$$

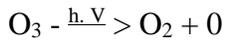
El átomo de oxígeno excitado puede perder su exceso de energía por choques con las moléculas de sus alrededores o puede reaccionar con moléculas de agua formando los importantes radicales $\cdot\text{OH}$.



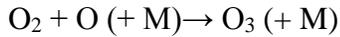
Otro camino para la degradación del ozono es su reacción con los radicales $\cdot\text{OH}$.



A longitudes de onda mayores de 310 nm el ozono se descompone también fotoquímicamente. Sin embargo, esta energía de luz ya no alcanza para generar los átomos excitados de oxígeno y la reacción, bajo las condiciones troposféricas es una reacción térmicamente reversible. Por eso ella no tiene el efecto de sumidero para el ozono.



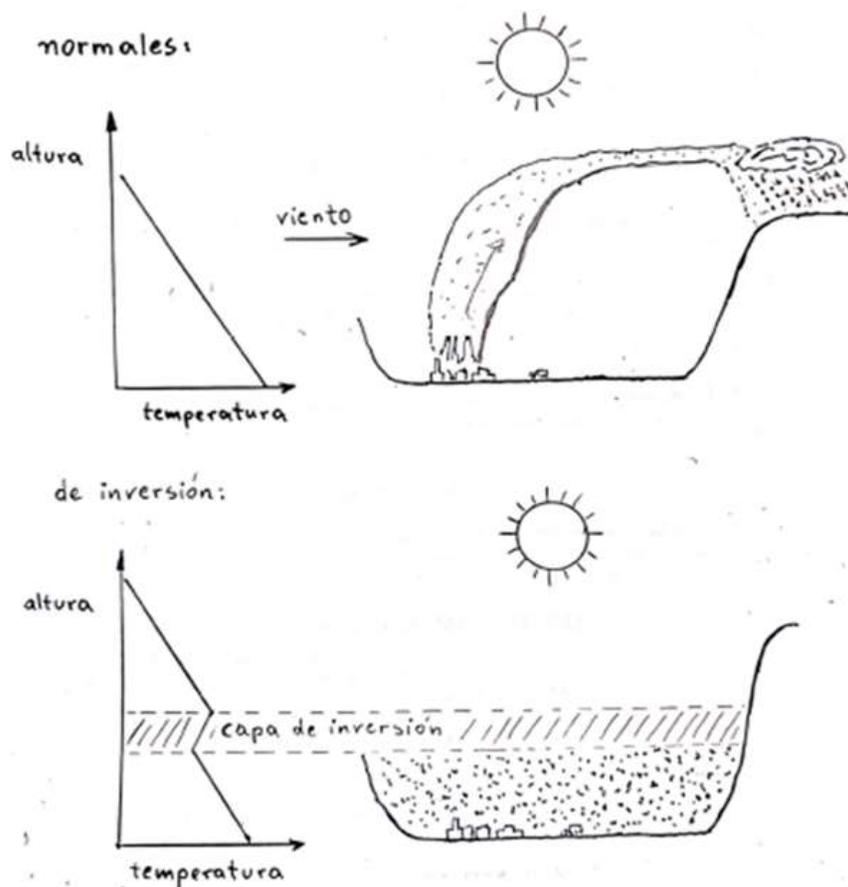
$$\lambda > 310 \text{ nm}$$



6.5 El foto-smog

El smog “clásico” es el smog de Londres, formado de SO_2 y humo. Otro tipo de smog es el smog de Los Ángeles, ya conocido a partir de los años 40. Se trata de una contaminación del aire con, en primer lugar, grandes concentraciones de los fotooxidantes, formados por la radiación solar intensa (smog de verano) a partir de hidrocarburos y/o monóxido de carbono en presencia de los óxidos de nitrógeno NO_x . Su concentración aumenta mucho si se forma bajo las condiciones meteorológicas de inversión.

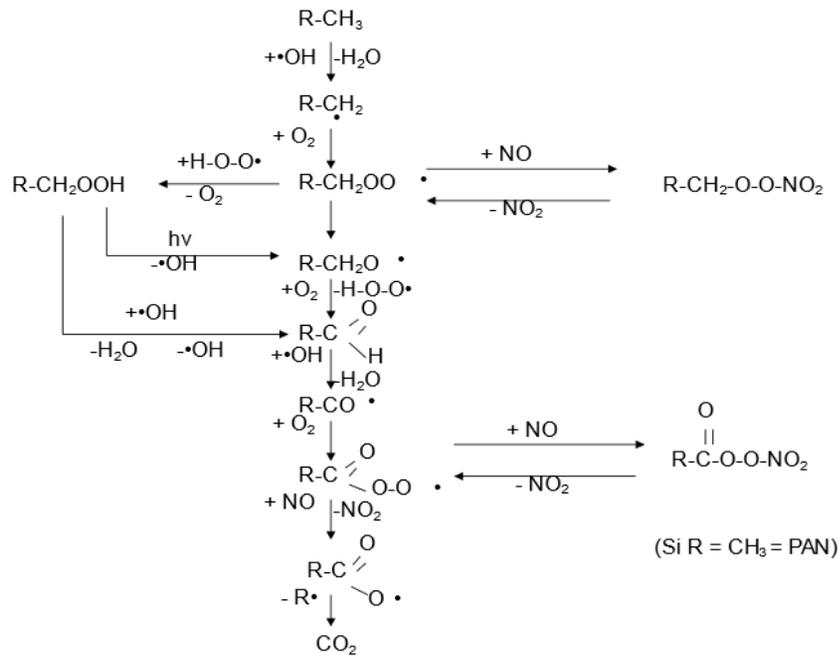
Figura 58 Condiciones meteorológicas



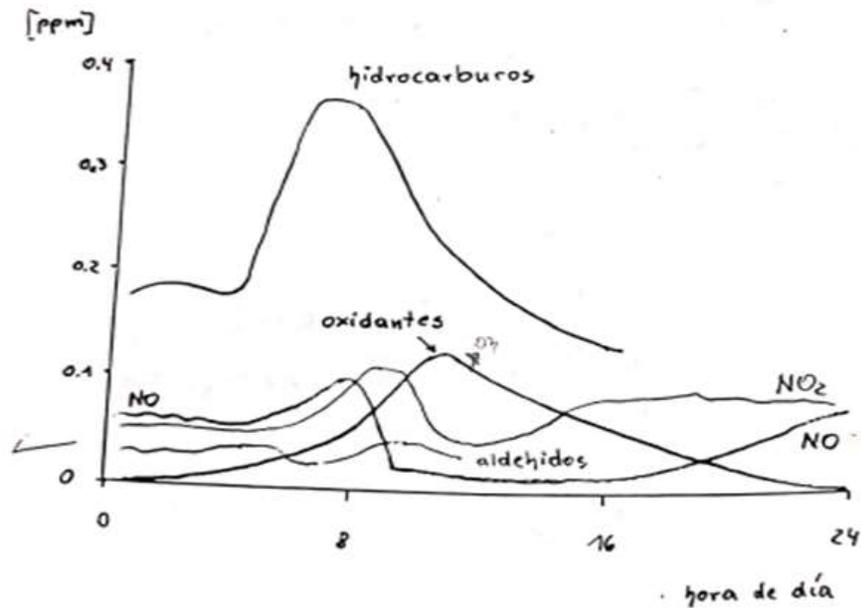
Este tipo de smog, en la mayoría de los casos es un smog causado por los automóviles. Ellos son las fuentes para el aumento de las concentraciones del CO , de los hidrocarburos y de los NO_x en la atmósfera.

Como ya se describió en el capítulo 3.2, la fotodegradación del CO en presencia de los óxidos de nitrógeno aumenta la concentración del ozono por aumentar la concentración del NO_2 . Lo mismo resulta de la oxidación de los hidrocarburos (capítulos 6.2 y 6.3).

Los radicales peroxi intermediarios en la cadena de oxidación de los hidrocarburos son los que reaccionan con el NO_2 formando de tal manera los peroxinitratos PAN, PPN, etc.

Figura 59 Degradación de los alcanos en la troposfera

El análisis de las concentraciones de los participantes principales en la formación del smog de Los Angeles durante las 24 horas muestra muy bien los resultados de este conjunto de reacciones.

Figura 60 Análisis de concentración

Con la salida del sol empieza la foto descomposición del NO₂ y aumenta la concentración de NO. Los átomos de oxígeno, formados por la misma reacción, están dispuestos para la formación del ozono. Un poco más tarde empieza el tráfico y aumenta la concentración de los hidrocarburos en el aire. Ellos reaccionan con el NO, lo que causa la disminución de la concentración del NO. A la vez aumenta la concentración del NO₂. Las concentraciones altas del NO₂ y la mayor intensidad de la radiación solar, causan más o menos a partir de las 8 horas, el aumento drástico de la concentración del ozono y de los otros foto oxidantes.

La disminución de la concentración del NO, por causa de su reacción con los hidrocarburos, causa el crecimiento adicional de la concentración del ozono porque la reacción $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ya no sirve para disminuir la concentración del ozono. En la tarde disminuye la concentración de los hidrocarburos, debido a su transformación en otros compuestos. También disminuye la concentración del ozono y de los otros fotooxidantes por su reacción con otros contaminantes y las plantas.

La concentración del ozono puede crecer también en regiones relativamente lejanas de las fuentes de los hidrocarburos. La causa es que durante la noche cerca de las fuentes de NO (p.ej. el tráfico) el ozono reacciona con el NO formando el NO₂ que es más estable que el ozono. Sin sufrir alguna descomposición, el NO₂ es transportado durante la noche por largas distancias. Con la salida del sol el NO₂ sufre fotodescomposición y el átomo de oxígeno formado causa el aumento de la concentración del ozono en el nuevo lugar.

El NO₂ es un ozono “escondido” (!!!)

Por eso en la literatura a veces se usa la fórmula: O_x = O₃ + NO₂. Las acciones del fotosmog sobre los seres vivos y los objetos son las acciones de los fotooxidantes. Se observan irritaciones de los ojos y de las mucosas, sobre todo de las vías respiratorias. El aumento de los fallecimientos, como para el smog de Londres, no está comprobado.

El MAK para el ozono es de 0.1 ppm (0.2 mg/m³). La concentración de 60 µg/m³ todavía no es peligrosa para las plantas. Los fotooxidantes, sobre todo el ozono, influyen negativamente sobre la fotosíntesis de las plantas y disminuye su absorción de agua. Daños extraordinarios se observan en los cultivos de uva y de cítricos. La acción oxidativa del ozono se aprovecha para la desinfección.

Los fotooxidantes causan daños a todo tipo de objetos hechos de material natural y/o químico-orgánico y a los colorantes, pinturas y barnices. Por eso está prohibido, sacar fotos de los objetos de arte, usando el flash.

Por ejemplo, en los laboratorios de la Universidad de California en Los Angeles las mangueras de goma para el agua de refrigeración se descomponen ya en pocas semanas. Como protección se agrega a muchos productos antioxidantes que son compuestos que reaccionan fácilmente con los fotooxidantes. El ozono de la troposfera causa el 7 % del efecto invernadero.

6.6 Los gases de escape de los automóviles

El 99 % del volumen de los gases de escape de los automóviles consiste de gases no Ni problemáticos, si no se toma en cuenta su contribución al efecto invernadero. Sólo el 1 % causa problemas más graves

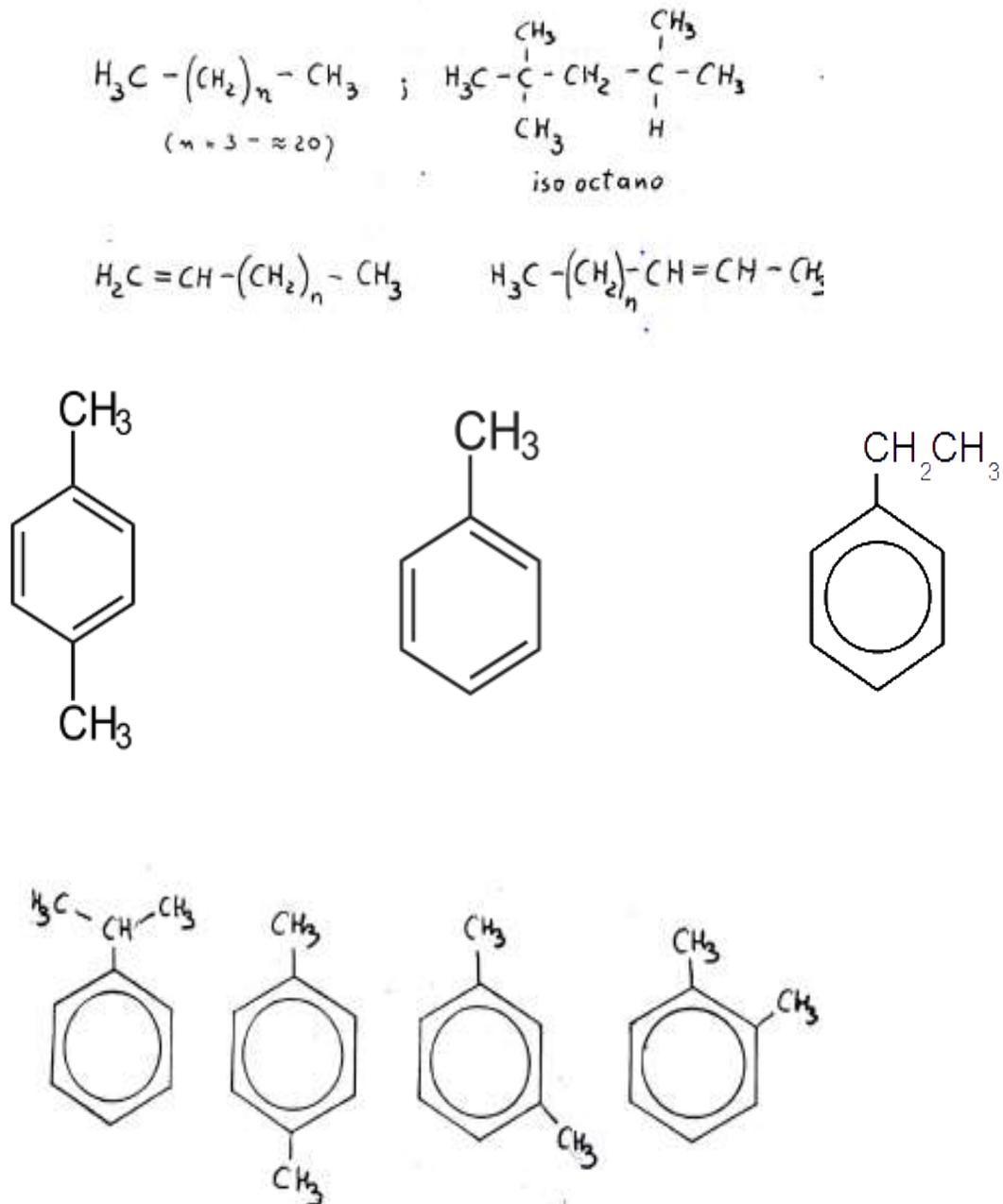
Figura 61 Composición típica de los gases de escape de los motores de combustión

Compuesto	%
N ₂	71
CO ₂	18.1
H ₂ O	9.2
O ₂ + gases nobles	0.7
Gases nocivos	1

	27.3	99
	←	
	└───┬───┘	
CO	0.85	
NO _x	0.08	
HC no quemados	0.05	
Sustancias sólidas	0.005	

La gasolina es una mezcla de diferentes hidrocarburos (90 %) y otros compuestos químico-orgánicos. Los hidrocarburos son los alcanos y cicloalcanos (hidrocarburos saturados), los alquenos (hidrocarburos no saturados, con uno o varios dobles enlaces) y los compuestos aromáticos, como el benceno, el tolueno y los xilenos (BTX).

Figura 62 Estructuras químicas de xileno, tolueno, etilbenceno.



La gasolina contiene los compuestos aromáticos entre el 35 % (gasolina normal) y el 45 % (gasolina super).

Diferenciamos entre la gasolina plomada y la gasolina sin plomo. La gasolina plomada contiene alrededor de 0.15 g plomo (Pb) por litro en forma del compuesto químico tetraetilo de plomo.

Pb (C₂H₅)₄

El tetraetilo de plomo sufre descomposición a temperaturas arriba de los 110 °C formando radicales etilo $\cdot\text{CH}_2\text{-CH}_3$ que en el motor sirven para iniciar las reacciones en cadena de la oxidación por radicales.

El tetraetilo de plomo es un líquido incoloro, muy soluble en los disolventes no polares y muy venenoso por bloquear la respiración celular. Se trata de un tóxico acumulativo. Los líquidos corporales resorben el tetraetilo de plomo rápidamente por su alta solubilidad en grasas y el plomo se acumula en el hígado, en los riñones y en la médula ósea. Los productos de oxidación del tetraetilo de plomo, que son, sobre todo, los óxidos de plomo, salen del motor con los gases de escape y se depositan en primer lugar en las orillas de las carreteras o son transportados por los vientos a lugares lejanos. El tráfico vehicular es la fuente más importante para las cargas primarias y secundarias del aire.

Por causa de sus motores de DIESEL muy potentes, los camiones de carga (y en México los autobuses, a causa del mal ajuste de sus motores) participan en las emisiones más de lo que proporcionalmente le correspondería, hasta en los países más desarrollados. Así se tiene que, aunque su participación en el tráfico urbano corresponde sólo al 10 %, su contribución en las emisiones de los NOx es el 40 % y del hollín el 75 %.

Tabla 26 Cargas del aire causadas por los automóviles

Sustancia	Cantidad en el año 1983 [10 ⁶ t]	Ciudades		Zonas rurales
CO	6.2	10,000	2000	200
NOx	1.34	120	50	10
Benceno	6.2	50	10	3

Las emisiones de los compuestos orgánicos no quemados (0.05 %) son una mezcla de diferentes hidrocarburos y de productos semioxidados, como los aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos.

Tabla 27 Los hidrocarburos (No quemados) que forman parte de los gases de escape

Sustancias	[%]
Metano	16.7
Eteno	14.5
Etino	14.1
Propeno	6.3
N- butano	5.3
Isopentano	3.7
Tolueno	3.1
N-pentano	2.5
Benceno	2.4
Los xilenos	1.9
Etano	1.8
1-buteno	1.8

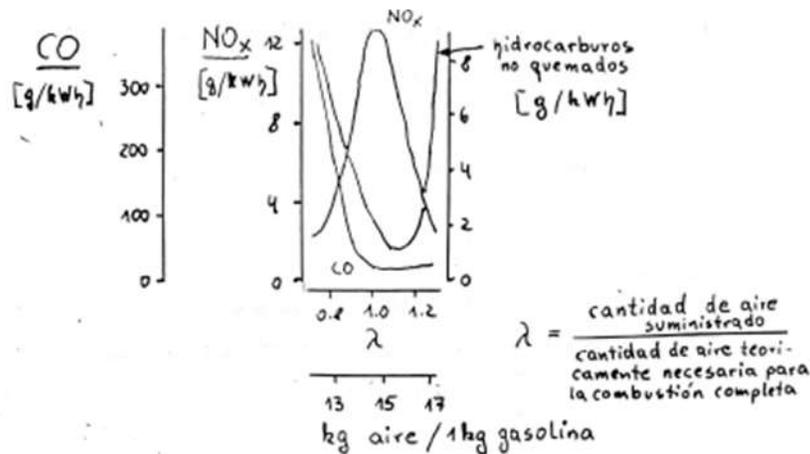
Mundialmente están registrados alrededor de 500×10^6 automóviles. Sólo en 1990 se vendieron 30×10^6 vehículos nuevos.

Tabla 28 Cantidad de los automóviles registrados 1989/90.

EEUU + Canada	206 · 10 ⁶	95% catalizadores
Unión Europea	155 · 10 ⁶	
El resto de Europa	35 · 10 ⁶	
Ex unión soviética	25 · 10 ⁶	
Asia (Sin Japón)	40 · 10 ⁶	
Japón	58 · 10 ⁶	100% catalizadores
África	13 · 10 ⁶	
América latina	34 · 10 ⁶	
Australia	98 · 10 ⁶	

La composición de los gases de escape de los motores depende esencialmente de la relación entre los volúmenes del vapor de gasolina y del aire.

Figura 63 Cantidad de automóviles /habitantes

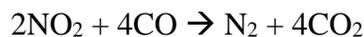


Existen tres posibilidades para reducir las concentraciones de las sustancias nocivas principales (CO, NO_x, e hidrocarburos) en los gases de escape de los motores de combustión:

- El cambio de las condiciones de combustión
- La combustión subsiguiente de los gases de escape, utilizando catalizadores,
- El cambio del combustible: metano o hidrógeno (desventaja: almacenaje), metanol o etanol (desventajas: más aldehídos en los gases de escape y menor potencia calorífica).

Aún bajo las condiciones de combustión óptimas, las emisiones de CO, NO_x e hidrocarburos todavía son altas. Por eso se han desarrollado diferentes sistemas de catalizadores para lograr la disminución de la concentración de estos gases.

Un catalizador es una sustancia química que acelera o facilita una reacción química de otras sustancias sin sufrir propiamente algún cambio químico. Los catalizadores de los automóviles se encuentran como una capa sobre soportes dentro de un recipiente por el cual pasan los gases de escape. Las tres tareas de este catalizador son transformar las sustancias nocivas en N₂, CO₂ y vapor de agua:

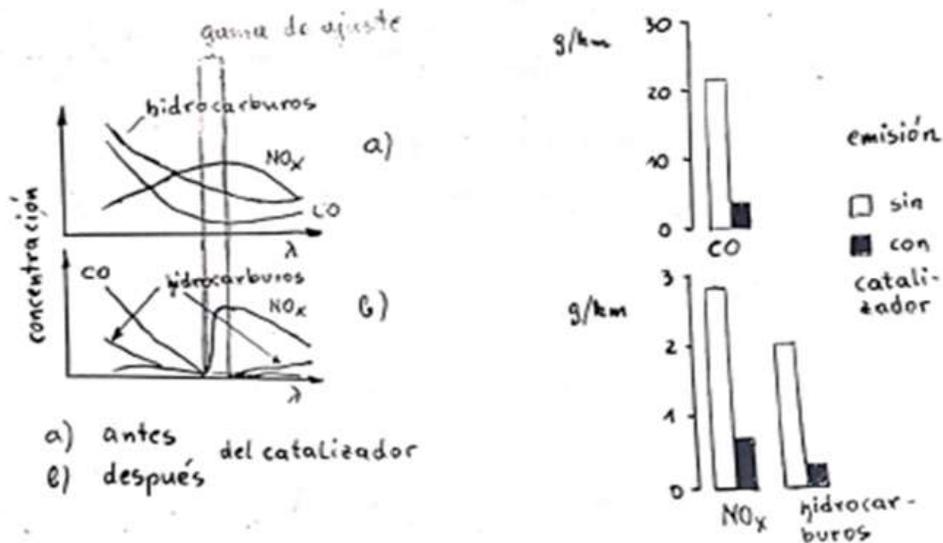


Estas tareas son algo contradictorio. Por un lado, es necesario oxidar el CO y los restos de los hidrocarburos, y por otro lado hay que reducir los NO_x.

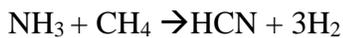
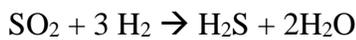
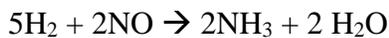
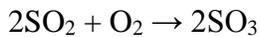
Los catalizadores más eficaces y actualmente preferidos son los catalizadores regulados de tres caminos (químicos). Ellos contienen, como sustancias catalíticamente activas, los metales nobles platino, rodio o paladio en una distribución muy fina, sobre un soporte térmicamente muy estable y hecho de aluminosilicatos,

Para lograr las condiciones óptimas para las reacciones (1), (2) y (3), es necesario, tener al mismo tiempo concentraciones suficientes de oxígeno y de CO. Una sonda, que se llama sonda, mide continuamente el contenido de oxígeno de los gases en el camino entre el motor y el catalizador y da la información para arreglar electrónicamente la relación entre el vapor de gasolina y el aire. De esta manera es posible disminuir por más del 80 % la concentración de las sustancias más nocivas: el CO, los NO_x y los hidrocarburos no quemados.

Figura 64 Catalizadores de automóviles



En los catalizadores de los automóviles suceden también algunas reacciones laterales que causan la formación de productos normalmente no existentes en los gases de escape. Esto es, en primer lugar, el N₂O que se forma a partir de NO. Además, en cantidades muy pequeñas y no peligrosas para el medio ambiente, se forman como producto de oxidación el SO₃ y como productos de reducción los gases NH₃, H₂S y el cianuro de hidrógeno (HCN):



El uso de gasolina plomada en un automóvil con catalizador causa el envenenamiento del catalizador por el plomo.

7 El ozono en la estratosfera

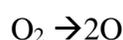
7.1 La capa de ozono

En la atmósfera hay diversos gases que consisten solamente de oxígeno: el oxígeno atómico en su estado electrónicamente basal O, el oxígeno atómico en su estado electrónicamente excitado O*, el oxígeno molecular diatómico O₂ el ozono O₃.

Especialmente en cuanto al ozono hay que diferenciar entre sus reacciones típicas dentro de la troposfera y en la estratosfera, o sea en las alturas arriba de los 10 km. La causa es que los contaminantes de la troposfera migran muy lentamente hacia la estratosfera porque la tropopausa entre la troposfera y la estratosfera impide el intercambio fácil de los gases.

A la altura de más o menos 30 km existe una capa formada por ozono en concentraciones relativamente grandes. El 90 % de todo el ozono de la atmósfera se encuentra en esta capa. La reacción clave para la formación de ozono a estas alturas es el fotodesdoblamiento de las moléculas diatómicas de oxígeno O₂:

h. v



$\lambda < 242 \text{ nm}$

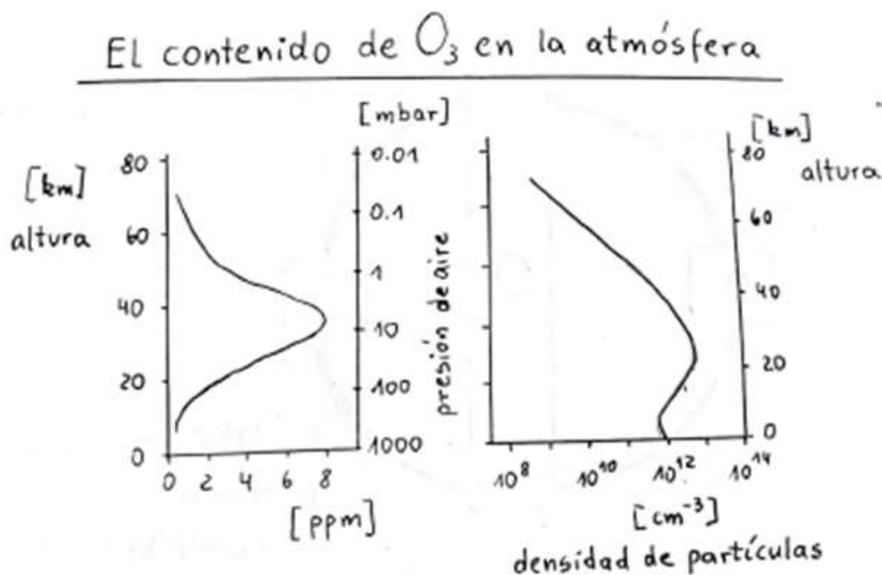
Cuanto más libremente la radiación solar puede entrar a la atmósfera, tanto más crece la concentración de los átomos de oxígeno formados por esta reacción y la concentración del oxígeno molecular baja. Por eso, en las regiones más altas hay también concentraciones altas de los átomos de oxígeno y la probabilidad para la formación del ozono según crece.



Por otro lado, con la altura creciendo disminuye la densidad de las partículas en el aire y con esto disminuye también la probabilidad de encontrar la tercera molécula M que es necesaria para aceptar el exceso de energía y evitar de esta manera la descomposición de la molécula de ozono recién formada.

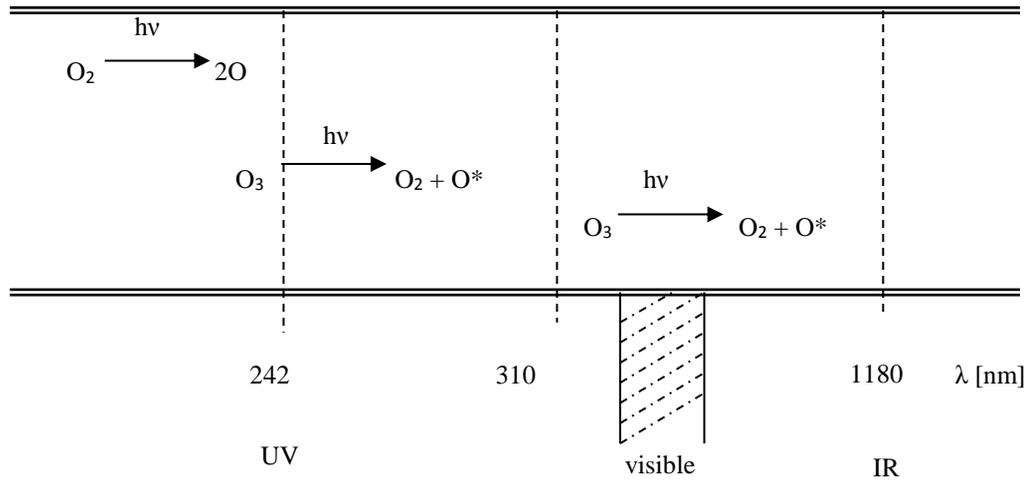
Esto significa que con la altura creciente no únicamente crece la formación del ozono sino también crece la probabilidad de su descomposición inmediatamente después de su formación. A alturas menores hay suficientes moléculas M que pueden aceptar el exceso de energía, pero disminuye la concentración de los átomos de oxígeno porque la radiación solar ya no es tan intensa como en las regiones más arriba. De estos dos efectos contrarios resulta un máximo para la formación de ozono alrededor de los 30 km.

Figura 65 Contenido de O_3 en la atmósfera



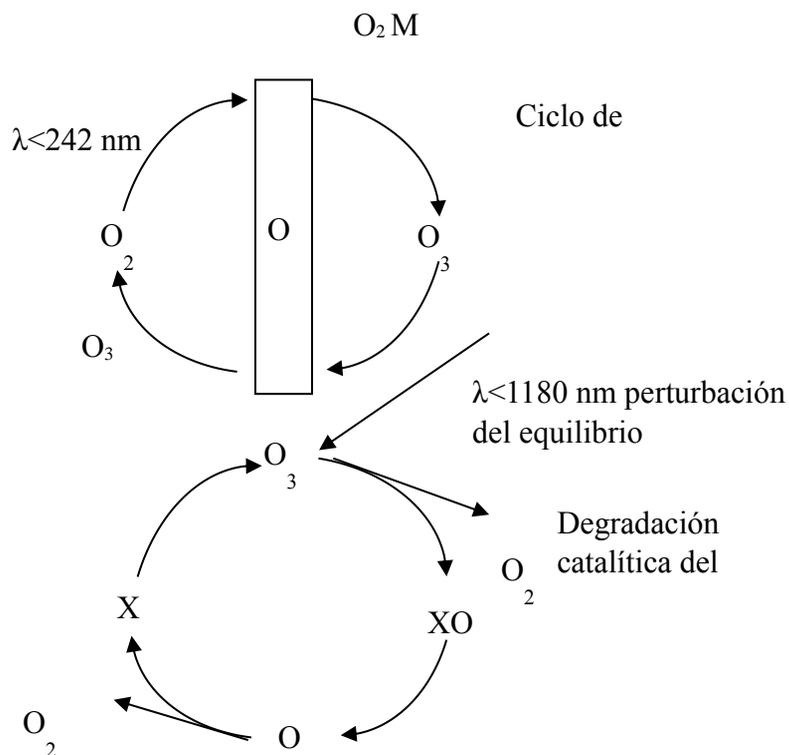
El ozono de la estratosfera representa el 90 % de todo el ozono atmosférico. Si fuera posible concentrar todo el ozono de la atmósfera en una capa cerca de la superficie terrestre bajo la presión normal y a la temperatura normal, el espesor de esta capa sería solamente de 3 mm. A pesar de esto, el ozono estratosférico es muy importante para la vida terrestre.

El ozono es la única sustancia en la estratosfera que absorbe la radiación solar entre 200 nm y 310 nm. De esta manera el ozono actúa como protector de la materia viva contra la influencia negativa de la luz ultravioleta. O mejor dicho, a causa de este filtro para la luz ultravioleta, la materia viva no ha tenido ninguna necesidad desarrollar mecanismos de protección contra la luz ultravioleta de estas longitudes de onda. La energía de la luz absorbida por el ozono causa su descomposición fotoquímica.

Figura 66 Fotosíntesis de O_2 y O_3 en dependencia de la longitud de onda de la luzFotólisis de O_2 y O_3 en dependencia de la longitud de onda de la luz.

7.2 El ciclo de chapman

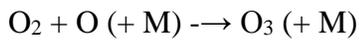
Uno de los pioneros de la química de la atmósfera, Sídney Chapman de la University of Oxford, Inglaterra, postuló en los años 30 que en la estratosfera a la vez tienen lugar procesos de formación y de destrucción de ozono.

Figura 67 El ciclo de Chapman y degradación catalítica del ozono

El foto desdoblamiento de las moléculas de oxígeno suministra los átomos de oxígeno que después reaccionan con otras moléculas de oxígeno formando las moléculas de ozono.

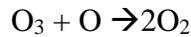
$$\lambda < 242 \text{ nm}$$

$$O_2 \rightarrow 2O$$

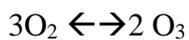


La transferencia continua de energía radiante a las moléculas M (en primer lugar, N₂ y O₂) causa el crecimiento de la temperatura. Para la degradación del ozono existen dos diferentes procesos: la fotodescomposición y la reacción de ozono con átomos de oxígeno.

$$\lambda < 1180 \text{ nm}$$



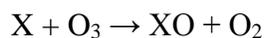
Existe un equilibrio dinámico de la formación y degradación continua entre las moléculas de oxígeno y las moléculas de ozono:



Y de este modo la concentración de ozono tendría que ser constante. Sin embargo, las mediciones de la concentración del ozono muestran que no es así. Se observa la disminución continua de la concentración de ozono en esta capa de ozono que no es explicable por los procesos de intermezclar entre la estratosfera y la troposfera.

7.3 La degradación catalítica del ozono

Primero hay que mencionar que los gases N₂, CO₂, H₂O, CH₄ y N₂O de la estratosfera no reaccionan con el ozono y por lo tanto no pueden ser el sumidero de ozono. No llegar en la Estratosfera De las propiedades químicas del ozono, sin embargo, es bien conocido que las partículas: Cl, NO, OH, H y Br pueden reaccionar con el ozono de una manera en que ellas, después de la reacción, resulten ser inalteradas y entren de nuevo a la misma reacción con otra molécula de ozono. En pocas palabras, ellas pueden actuar como un catalizador para la degradación del ozono.



(p. ej.: X = Cl, NO, ·OH, etc.)

Todas estas partículas son comprobadas para la estratosfera. Entonces, aparte de la descomposición fotoquímica del ozono estratosférico, hay que tener en cuenta un conjunto de reacciones catalíticas con el mismo efecto.

La velocidad de una reacción en la cual el catalizador participa formando productos intermedios, como los XO en las ecuaciones arriba mencionadas, depende sobre todo de la concentración de los participantes en la reacción, porque, para reaccionar uno con otro, ellos necesitan chocarse y la probabilidad de los choques depende de la cantidad de las partículas dentro de un volumen dado (y de la temperatura).

$$v = k \cdot C_x \cdot C_{\text{ozono}}$$

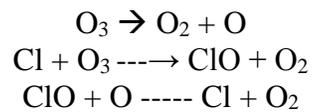
(k = constante de velocidad de la reacción)

Por eso no es muy difícil imaginarse que el aumento de la concentración de cualquier tipo de estas partículas influye mucho sobre el equilibrio entre la formación y la degradación del ozono en la estratosfera.

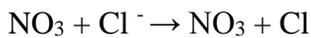
En dependencia del tipo de la partícula X existe diferencia entre varios ciclos catalíticos de la degradación del ozono:

En el año 1974, en la revista Nature (289, 810 - 812), M.J. MOLINO Y F.S. ROWLAND de la Universidad de California en Irvine publicaron el artículo "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone" y describieron por primera vez el llamado ciclo ClO_x

$$\lambda < 1180 \text{ nm}$$



Como fuente del cloro en la estratosfera ni los cloruros de las sales del mar ni el cloro formado a partir de estas sales en la troposfera



Pueden entrar en consideración, porque su tiempo de vida en la troposfera es muy corto. Sin embargo, hay un compuesto orgánico clorado, el clorometano CH₃-Cl, que se forma por procesos microbiológicos en los océanos y los suelos y como producto de la combustión de biomasa. El clorometano tiene un tiempo de vida en la atmósfera suficientemente largo (1 año) para entrar a la estratosfera. El clorometano causa más o menos el 17 % (0.7 ppb) del contenido de cloro en la estratosfera. Pero, hasta ahora no se ha observado el aumento de su formación natural. Por lo tanto, hay que analizar las fuentes antropógenas.

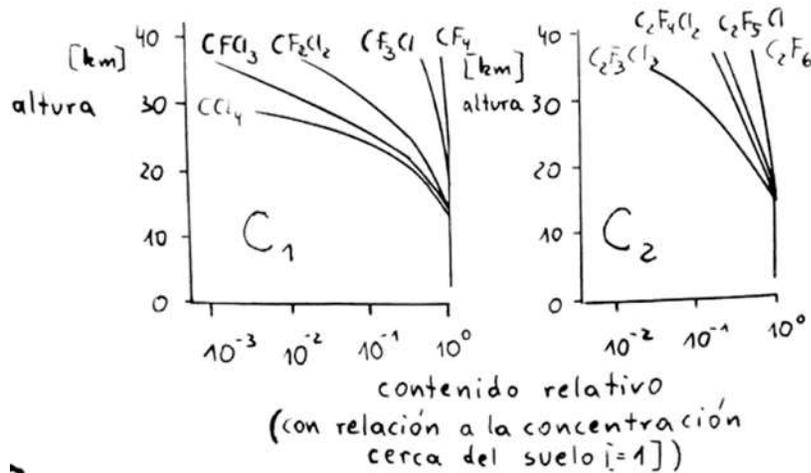
Las fuentes antropógenas de cloro más importantes son los hidrocarburos clorofluorados o clorofluoroalcanos (CFA's) que se llaman también freones (inglés: Chlorofluorocarbons, CFC; alemán: Fluorchlorkohlenwasserstoffe, FCKW o Frigene).

A fines de los años 20 la búsqueda de nuevos refrigerantes no tóxicos en la empresa General Motors condujo al descubrimiento de los CFA's. El nuevo y primer producto de esta clase de compuestos, el diclorodifluorometano o Freón 12, se consideró como seguro por ser químicamente muy estable, no combustible, no tóxico y no tiene olor, a diferencia del amoníaco que se usó antes como refrigerante. Por lo tanto, empezó su producción en el año 1931 en la empresa Du Pont.

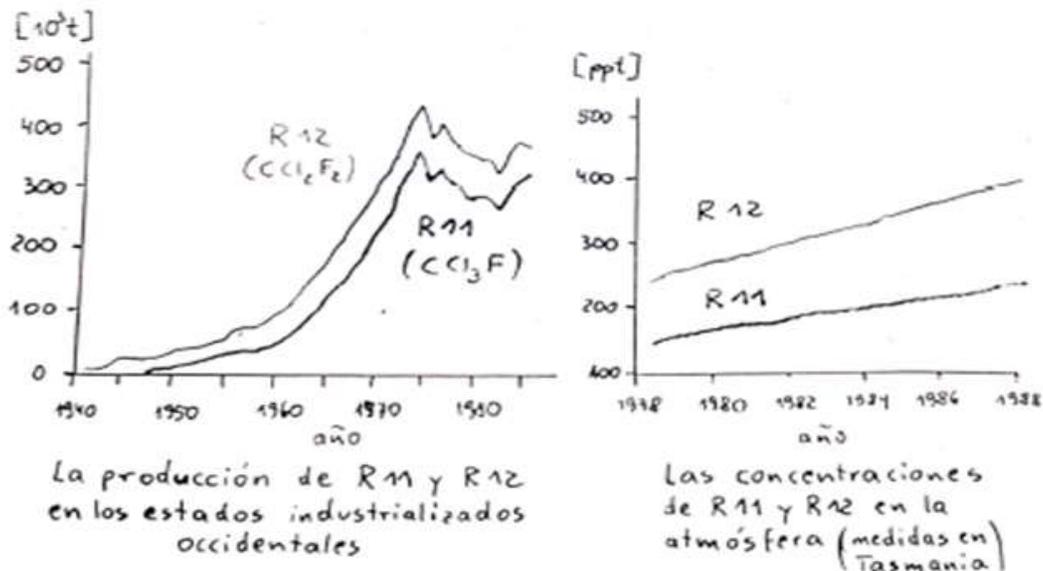
Para satisfacer la demanda amplia de este tipo de compuestos se desarrollaron otros productos semejantes más (hasta polímeros como el teflón) que, a veces, como los llamados halones (inglés: halogenated hydrocarbon), también contienen otros halógenos como el bromo o el yodo. Los halones se usan en primer lugar como sustancias extintoras.

La producción mundial de todos estos compuestos creció rápidamente.

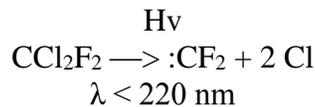
Su estabilidad química es tal que en la troposfera casi no sufren descomposición y pueden ser transportados hacia la estratosfera. Su estabilidad crece con el número de átomos de flúor en la molécula.

Figura 68 Distribución vertical de algunos CFA's

Es evidente y comprobado que p. ej. la concentración de los freones CCl_2F_2 y CCl_3F en la atmósfera ha crecido con su volumen de producción.

Figura 69 Producción y concentración

La luz ultravioleta que entra a la estratosfera causa el desdoblamiento fotoquímico de los enlaces C-Cl.



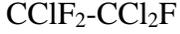
Los átomos de cloro entran en el equilibrio entre la formación y la descomposición del ozono y desplazan el equilibrio hacia la descomposición de ozono.

¡Un solo átomo de cloro puede descomponer más de 10 000 moléculas de ozono! antes de sufrir su transformación a algún otro compuesto como p. ej. el HCl, que sirve para eliminar el cloro de la estratosfera.

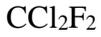
Los CFA's más importantes son derivados del metano (ellos contienen un solo átomo de carbono). Unas observaciones en cuanto a la nomenclatura de los freones y halones: En la industria normalmente no se usa la nomenclatura química sino un número clave para diferenciar entre los diferentes compuestos.

Para los freones se usa un número de tres (o de dos) cifras. La última cifra corresponde al número de los átomos de flúor en la molécula. La penúltima cifra corresponde al número de los átomos de hidrógeno más 1. La primera cifra corresponde al número de los átomos de carbono menos 1. Si esta cifra es igual a cero, entonces no se escribe y el número clave del freón consiste sólo de dos cifras. A veces, antes del número clave, se escribe una "R" que viene de la palabra inglesa "Refrigerant"

Ejemplos:



Freón 113 ó R 113



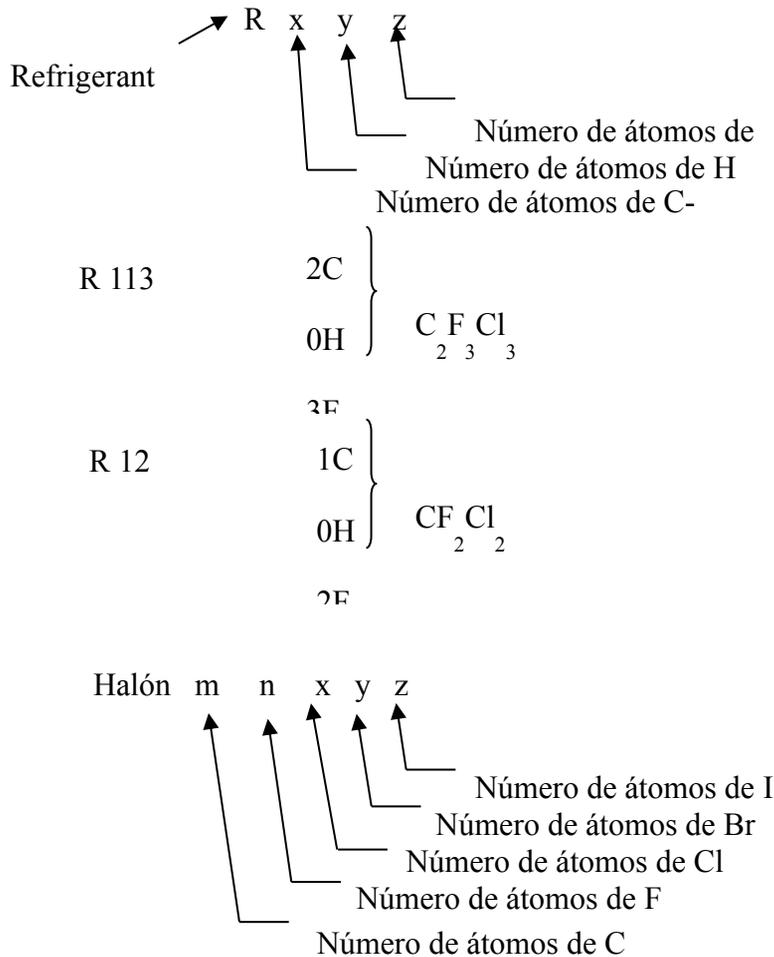
Freon 12 o R 12

Para los halones también se usa un sistema de cifras, pero diferente a los freones. En el orden de sucesión de los átomos C,F,Cl,Br y I se usan cinco cifras que corresponden a la cantidad de cada tipo de los átomos en la molécula. Si falta el yodo en la molécula del halón se denomina con sólo cuatro cifras y si falta también el bromo se usan solamente tres cifras.

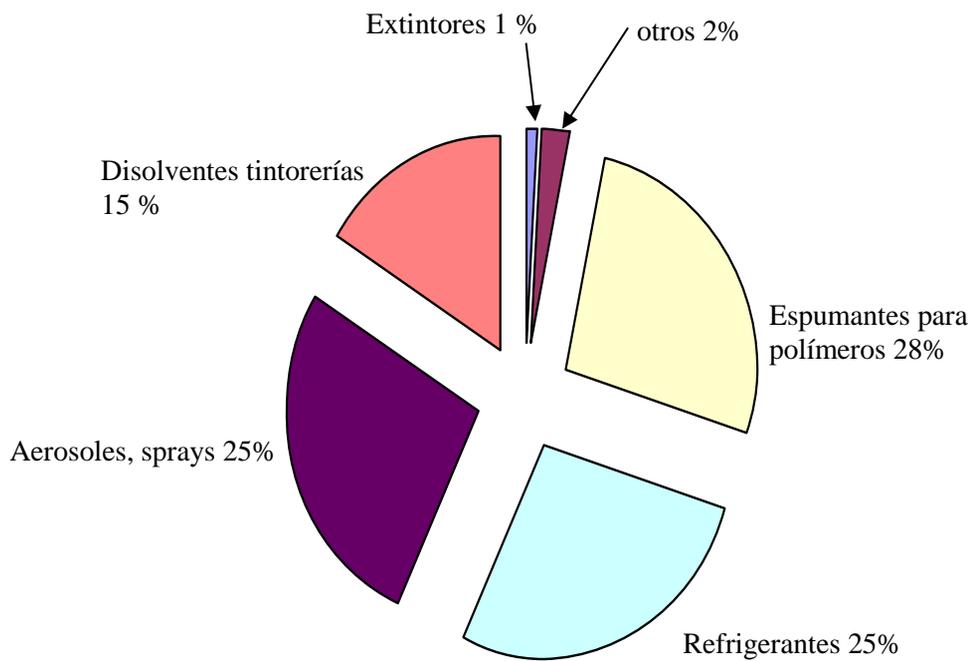
Ejemplo CF₂ClBr

Halón 1211

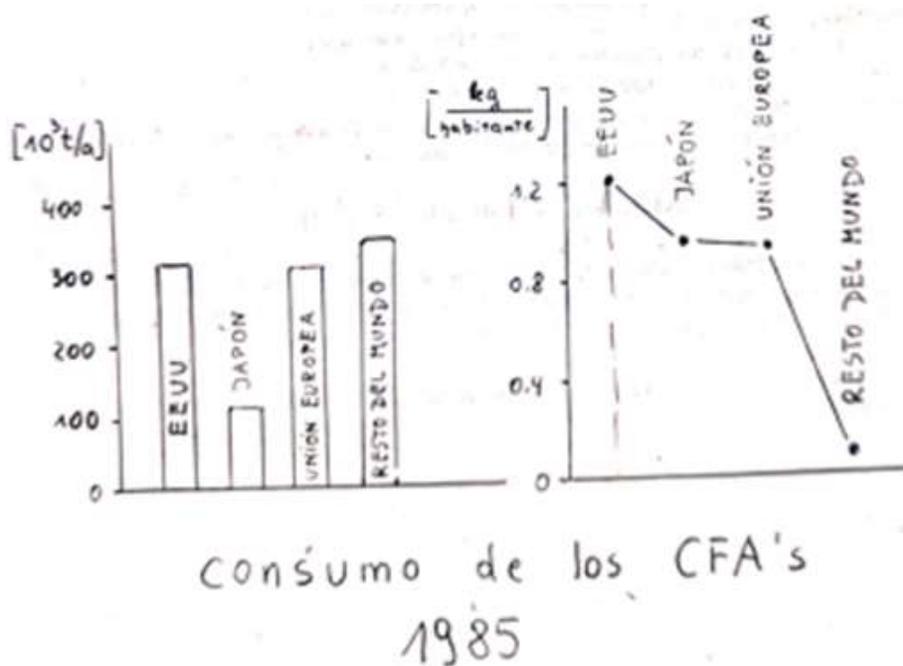
Figura 70 Utilizaciones de los freones y halones



La utilización de los freones es muy amplia. Se utilizan no solamente como refrigerantes en la climatización, sino también en los sprays, como espumantes para polímeros y como disolventes p.ej. en las tintorerías para el lavado en seco.

Figura 71 Utilización de las CFA's

Aunque ya en algunos países hay ciertas restricciones para la utilización de los freones y ya existen convenios para prohibir su utilización a partir del año 2000, el consumo todavía es alto.

Figura 72 El diagrama siguiente muestra algunos valores del consumo de los freones para el año 1985

Vemos que los que causan los problemas más graves son otra vez los países más desarrollados. Los freones y halones tienen un largo tiempo de vida en la atmósfera. En dependencia de la cantidad y del tipo de átomos de halógenos, el tiempo de vida varía entre 5 años (los más reactivos sin flúor) y 500 años. Los que contienen sólo átomos de flúor pueden vivir hasta unos mil años. Las concentraciones en la atmósfera crecen anualmente el 5%. Por lo tanto, la destrucción adicional del ozono por los átomos de cloro durará todavía muchos años, aun cuando se logre su prohibición total (Ravishankara et al. 1993)

El contenido de todos los compuestos de cloro en la estratosfera, relacionado al número de los átomos de cloro, actualmente es más o menos de 3 ppb. La concentración natural del cloro en la troposfera, sobre todo causada por las emisiones naturales de CH_3Cl , es de 0.7 ppb.

Para evaluar y comparar su peligro para la capa de ozono se han calculado los potenciales relativos de los freones y halones para la destrucción del ozono: ODP (inglés: Ozone Depletion Potential). Como valor de referencia se eligió el valor ODP del freón R 11 igual a 1. Cuanto mayor es el ODP, tanto mayor es el efecto negativo sobre la capa de ozono. La tabla siguiente muestra ejemplos de los valores ODP y el tiempo de vida para algunos de los freones y halones:

Tabla 29 Tiempo de vida y el ODP de algunos CFA's

CFA	Formula	Tiempo de vida en la Atmósfera [años]	ODP relativo R11= 1
R 11	CCl_3F	60	1
R12	CCl_2F_2	130	0.9
R13	CClF_3	380	1
R14	CF_4	50000	1
R113	$\text{CCl}_2\text{F}-\text{CClF}_2$	90	0.8
R114	$\text{CClF}_2-\text{CClF}_2$	200	1
R115	$\text{CF}_3-\text{CClF}_2$	400	0.6
Halón 1211	CF_2ClBr	18	3.0
Halón 1301	CF_3Br	110	10.0!
Halón 2402	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$?	6.0!
R140 a*)	CH_3-CCl_3	6	0.1
R 10	CCl_4	50	1.1

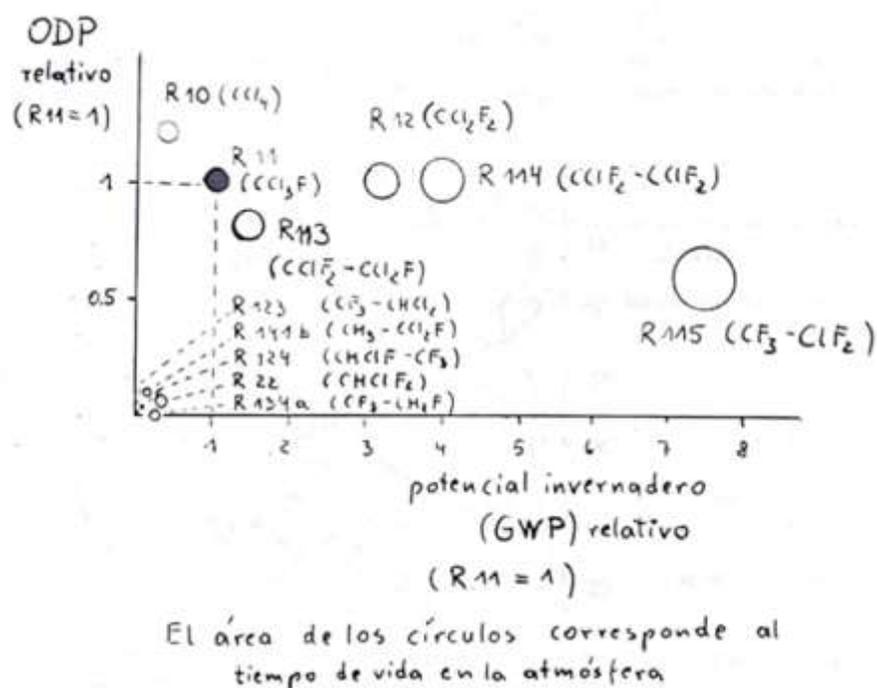
Su contribución real a la destrucción de la capa de ozono depende del ODP y de la concentración. Los halones que contienen átomos de bromo son más destructivos que los otros compuestos que contienen únicamente el cloro y el flúor.

Los freones y halones contribuyen además con más del 15 % al efecto invernadero adicional.

Los investigadores buscan intensamente por sustitutos. La meta indispensable es, encontrar sustitutos que tengan pequeños valores ODP, cortos tiempos de vida en la troposfera para que ellos no lleguen a la estratosfera y un pequeño potencial invernadero (GWP).

Aunque hasta ahora no hay ningún sustituto universal (por causa de la gran variedad de la utilización de los alcanos halogenados), la tendencia pasa hacia los alcanos totalmente fluorados que no sufren fotodescomposiciones tan fáciles y hacia los compuestos que todavía contienen átomos de hidrógeno porque estos compuestos son degradados casi totalmente ya dentro de la troposfera y no pueden alcanzar las alturas de la capa de ozono en grandes concentraciones.

Figura 73 Tiempo de vida en la atmosfera



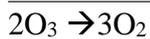
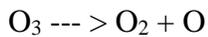
Los hidrocarburos, como el propano o el butano, no son buenas alternativas porque ellos son fuentes de los fotooxidantes. A pesar de esto, ya se ha usado el ciclo pentano como refrigerante. A parte del ciclo catalítico de ClO_x , existen otros ciclos que sirven para la degradación del ozono en la estratosfera. De importancia son:

- La reacción de ozono con átomos de oxígeno



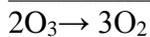
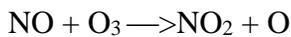
- Las reacciones del ozono con el hidrógeno o los radicales $\cdot\text{OH}$ y $\cdot\text{O-OH}$

$\lambda < 1180 \text{ nm}$



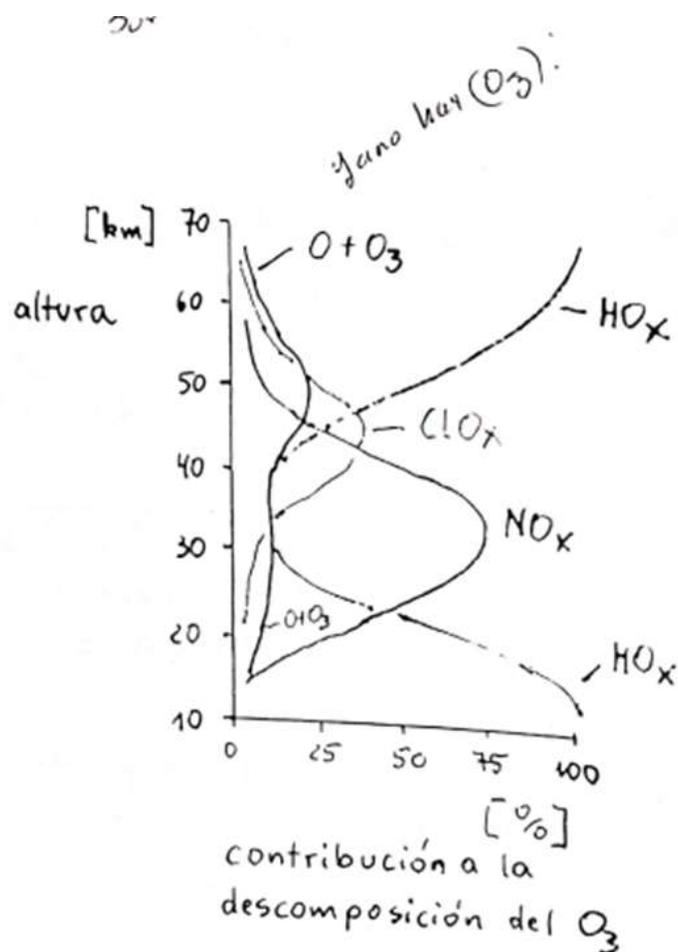
- Las reacciones del ozono con los NO_x

$< 1180 \text{ nm}$

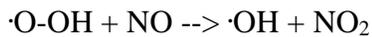
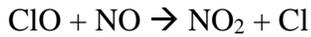


Como fuente natural de NO actúa el N_2O de la estratosfera y como fuente antropógena hay que tener en cuenta los gases de escape de los aviones. Las contribuciones de los diferentes ciclos a la descomposición catalítica del ozono dependen de la altura

Figura 74 Contribución a la descomposición del ozono



y no son aditivos porque los reactivos de un ciclo pueden reaccionar con los de otro ciclo, p.ej.:

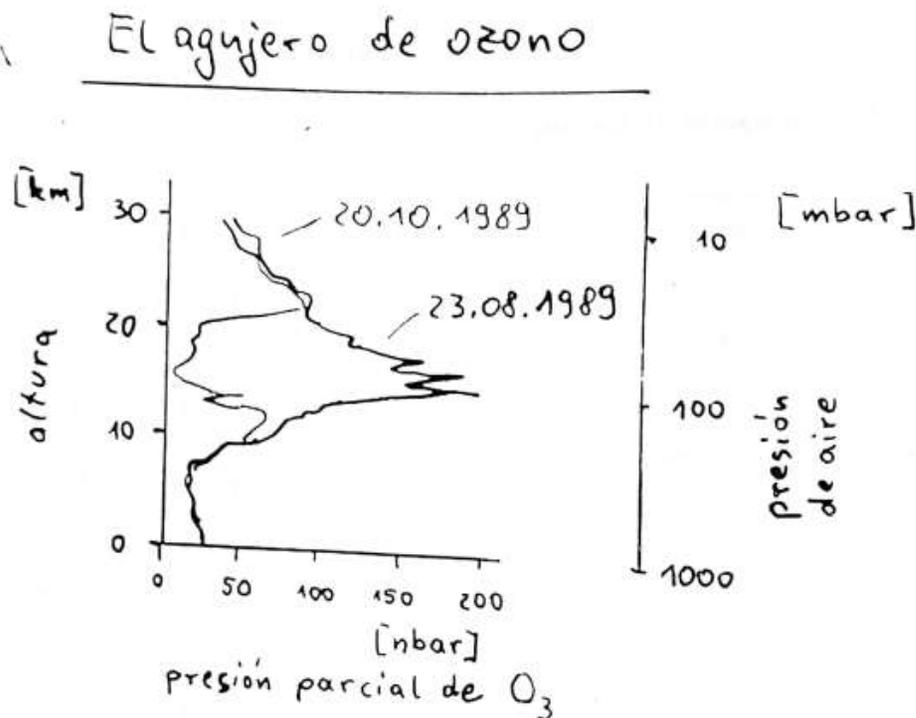


7.4 El agujero de ozono

La concentración de ozono en la estratosfera depende de la latitud geográfica, de la estación del año y de la hora del día. Esto es una de las dificultades para determinar posibles cambios de su concentración global. Según los resultados de mediciones hechas por el satélite NIMBUS 7 la concentración global de ozono se redujo entre los años 1978 y 1990 en el 3 %.

Un fenómeno ha llamado la atención de los científicos y de la publicidad: el agujero de ozono. Se trata de una disminución del contenido de ozono en la estratosfera, dentro de poco tiempo, a valores menores de la mitad de lo normal. Se observó esta caída por primera vez en la región del polo sur durante el invierno antártico.

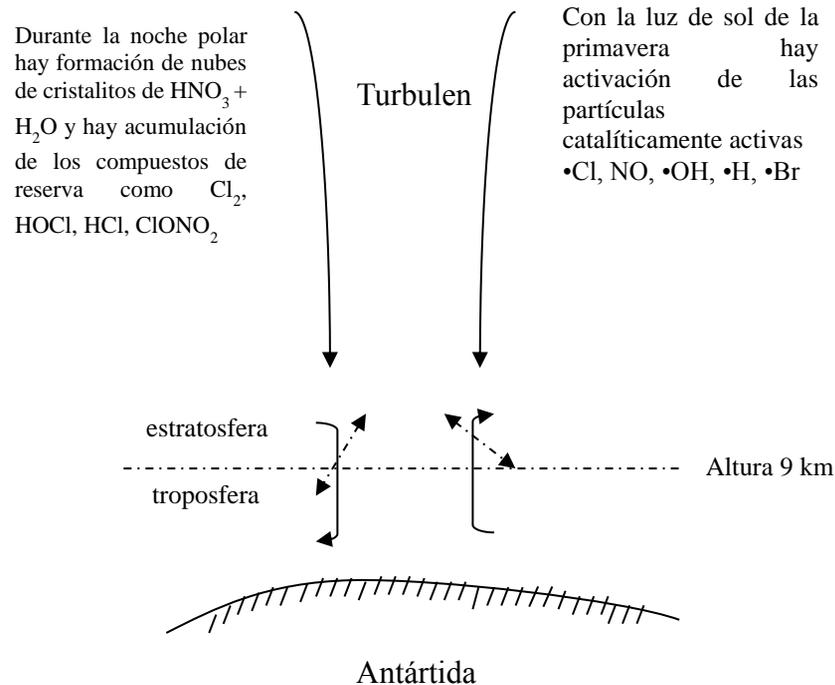
Figura 75 Agujero de ozono



Por ejemplo en el año 1989, dentro de un lapso de dos meses entre el 23 de agosto y el 20 de octubre, a una altura de 15 km y dentro de una región bien limitada, se redujo la presión parcial de ozono de 200. 10° bar por el 95 % (!). Estas zonas pobres en ozono entretanto alcanzan dimensiones que corresponden a la superficie de los EEUU y crecen cada vez más. Es necesario mencionar otra vez, que no hay que confundir estos agujeros de ozono con la disminución global de la concentración de ozono.

¿Cuáles son las causas de estos agujeros de ozono y por qué exactamente sobre el polo sur?

Durante el invierno polar se forma sobre la Antártida, a alturas alrededor de 20 km, una turbulencia muy fría con temperaturas entre -90°C y -80°C. El aire circula casi concéntricamente alrededor del polo sur.

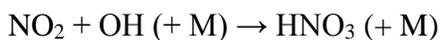
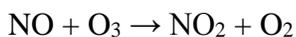
Figura 76 Cambios de temperatura**Agujero de ozono.**

Este núcleo de aire frío está relativamente aislado del resto de la atmósfera, es decir que casi no hay intercambio de masas de aire y este núcleo se comporta como un recipiente de reacción en el cual se transforman los contaminantes de tal manera que, cuando empieza la primavera con los primeros rayos de luz solar, ellos causan la descomposición catalítica del ozono dentro de muy poco tiempo.

¿De qué tipo son estas transformaciones de los contaminantes?

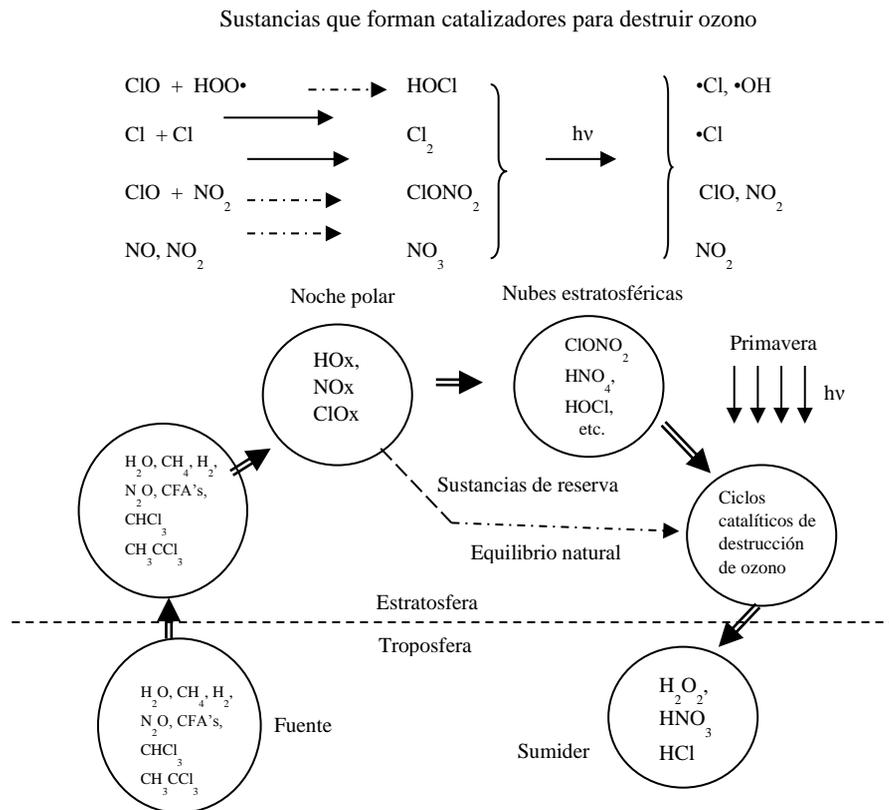
Las temperaturas bajas hacen posible la formación de nubes polares estratosféricas que consisten en cristales muy finos (su diámetro es de más o menos $1 \mu\text{m}$, por esto ellos no se precipitan) que consisten en una mezcla de hielo y de ácido nítrico (HNO_3) 3:1.

La formación de los cristales de HNO_3 significa la reducción de la concentración de los NO_x en la estratosfera.



Por esto, por un lado, falta el NO_2 en el equilibrio que, en presencia de la luz solar, existe entre el ozono, el oxígeno y los NO_x (vea el capítulo 5) y por otro lado se reduce la concentración de los NO_x que entran en el ciclo catalítico entre el ozono y los NO_x . Además, resulta una perturbación del equilibrio entre el cloro libre activo y el de los compuestos de cloro que actúan como reserva de cloro activo. En las superficies de los cristales ocurren reacciones químicas (heterogéneas) que no son posibles en la fase gaseosa. Se forman sustancias como el ClONO_2 , el Cl_2 , el HOCl y el HCl . De esta manera las sustancias activas sobre el equilibrio de ozono (NO_x y Cl) son almacenadas.

Con la luz solar de la primavera polar en agosto aumenta la temperatura de la estratosfera y dentro de corto tiempo son liberados los compuestos de reserva y a la vez empiezan las fotorreacciones de su descomposición. Esto causa un aumento rápido de las sustancias que entran en los ciclos catalíticos de la descomposición del ozono, lo que aumenta la velocidad de su descomposición (vea ecuación de velocidad en la página 74).

Figura 77 Ejemplos para las sustancias de reserva que forman fotorreacción

Desde hace algunos años se observa también en el hemisferio norte un agujero de ozono semejante que también depende de las estaciones del año.

7.5 Los daños causados por la radiación UV

Según su acción biológica se diferencia entre la radiación UV-C (200 nm - 280 nm), UV-B (280 nm - 320 nm) y UV-A (320 nm - 400 nm). Hacia longitudes de onda mayores colinda la región visible (400 nm - 800 nm) y el infrarrojo (> 800 nm).

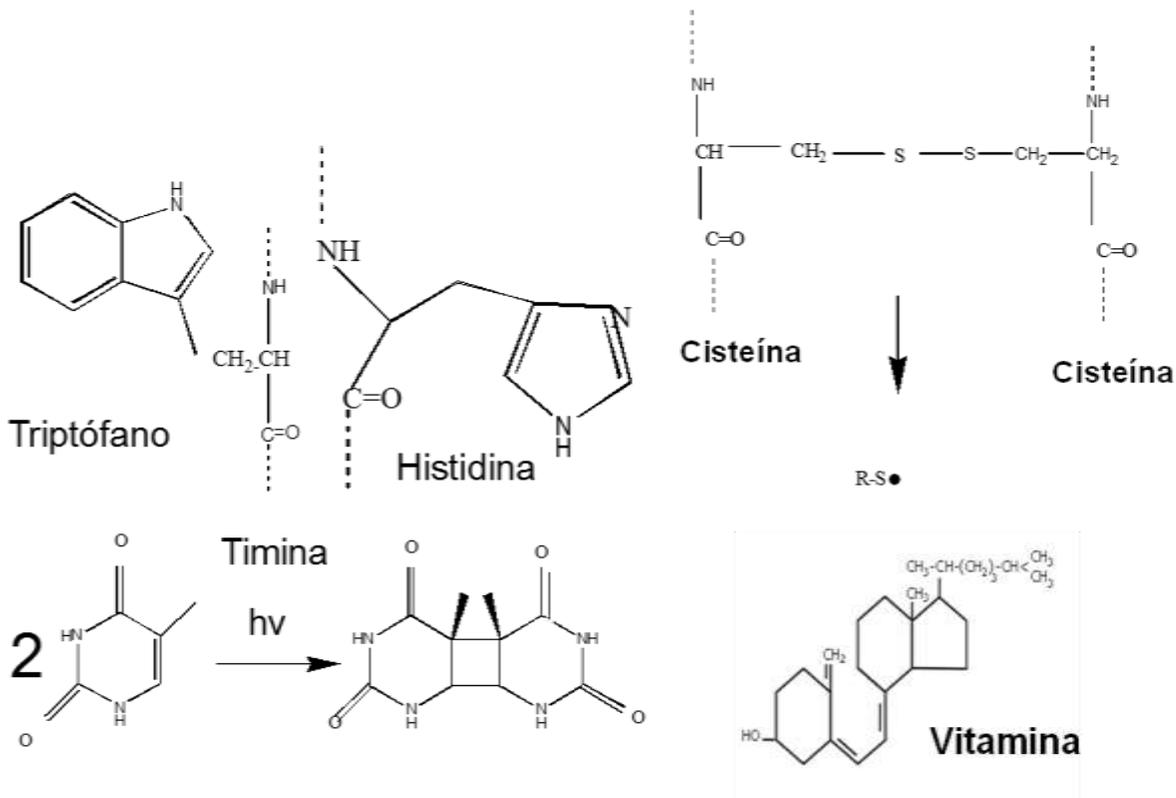
Gran parte de luz UV es absorbida por las moléculas y los átomos dentro de la atmósfera. El único gas traza que absorbe la radiación UV entre 200 nm y 310 nm es el ozono.

En cuanto a la densidad de flujo de la radiación solar cerca del suelo, el infrarrojo contribuye con el 42.1 %, la luz visible con el 51.2 % (el total de los dos = 93 %), la luz UV-A con el 5.6 %, la luz UV-B con el 0.5 % y la luz UV-C, debido a su absorción total en la atmósfera, ya no alcanza la superficie terrestre.

Bajo estas condiciones de la radiación se desarrolló la vida terrestre con algunos mecanismos de protección contra el resto de la radiación UV.

Cuando disminuye la concentración del ozono aumenta la intensidad de la luz UV entre 250 nm y 310 nm que alcanza la superficie terrestre. En las células vivas hay sustancias indispensables para el funcionamiento de los procesos biológicos que son sensibles a la luz de este intervalo de longitudes de onda.

Figura 78 Estructuras químicas



Estas sustancias, en primer lugar, son el triptófano, la histidina y la cisteína que son aminoácidos, (los dos primeros son aminoácidos heterocíclicos), y la timina que es una de las cuatro bases fundamentales de los ácidos nucleicos que forman el fundamento de la información hereditaria.

El triptófano forma parte de las lentes de los ojos. Su transformación fotoquímica puede ser una de las causas de la enfermedad catarata que se observa por influencia de la luz UV y que, según las estadísticas, aumentó mundialmente en los últimos años. Sobre todo, las fotorreacciones de la histidina causan los daños de la piel.

La cisteína es un aminoácido que forma puentes de azufre que son de gran importancia para la estructura espacial de las proteínas. La luz UV puede romper estos puentes formando los radicales RS. De esta manera, por un lado, se destruye la estructura espacial de las proteínas y por otro lado, los radicales pueden causar reacciones bioquímicas caóticas en las células.

Los cambios fotoquímicos de la timina influyen sobre la información hereditaria y pueden causar la muerte de la célula viva o mutaciones como el cáncer. La radiación UV es la que causa las quemaduras del sol, debilita el sistema inmunológico y la síntesis de la vitamina D3.

La luz UV-C y, en un grado limitado, también la luz UV-B es mortal para los microbios o puede causar mutaciones. Esta acción de la luz UV se aprovecha para diferentes métodos de desinfección. Muy sensible a la radiación UV-B es el fitoplancton. Los biólogos ya detectaron cierta disminución de la formación del plancton en el mar. Se cree que la causa es la disminución de la concentración del ozono.

Los cambios en la composición de las especies del plancton influyen directamente sobre la cadena de alimentación en el mar y sus consecuencias todavía no son previsibles. Además, se supone que la disminución del fitoplancton disminuye la capacidad del mar para absorber el CO₂, lo que aumentaría el efecto invernadero.

El aumento de la radiación UV-B causa para las plantas terrestres, en dependencia de la especie, diferentes daños. Frecuentemente se observan la disminución de la superficie de las hojas y retoños más cortos.

8 Los aerosoles

8.1 La importancia de los aerosoles, sus fuentes y propiedades

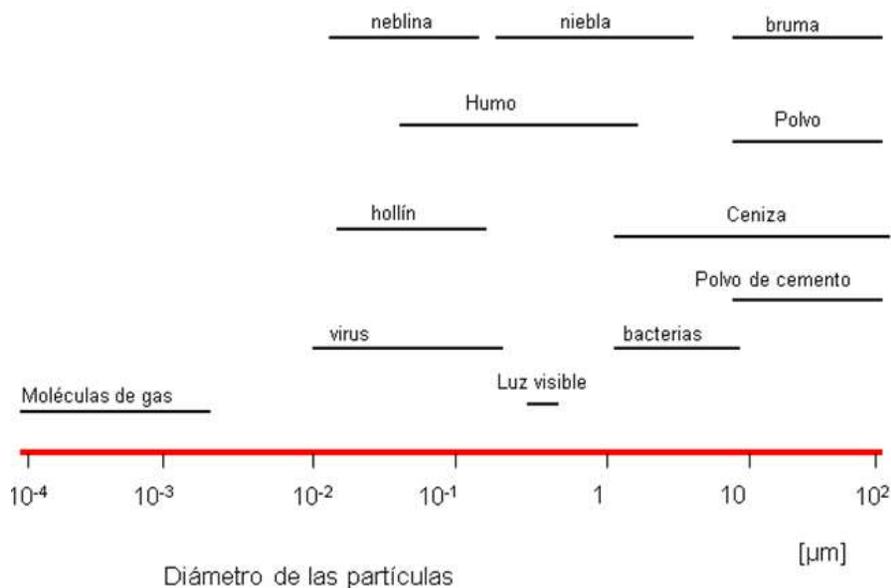
Los aerosoles son sistemas coloidales que consisten en gases - en este caso el aire - y de partículas sólidas y / o líquidas en una distribución muy fina. En otras palabras, se trata de una suspensión de partículas finas dentro de un gas.

Las partículas sólidas que forman parte de los aerosoles son, sobre todo, los núcleos de las sales de mar que arrastra el viento de los océanos, el polvo de los volcanes, la arena de los desiertos, el polvo de carbón y el hollín del humo de las calefacciones, el polvo de las calles, etc. Las partículas líquidas, en primer lugar, son las gotitas de agua (p. ej. en las nieblas y las nubes).

Aparte de estos aerosoles, formados de materia inanimada, hay también aerosoles que contienen materia viva, como virus, bacterias, hongos y esporas, frecuentemente agregada a las partículas sólidas y líquidas, las cuales -en toda la acepción de la palabra- sirven como vehículo para este tipo de materia viva.

Una propiedad específica de los aerosoles es que las partículas sólidas y líquidas, finamente distribuidas, flotan en el aire durante un tiempo más o menos largo. Por lo tanto, ellas pueden ser distribuidas como un gas sobre áreas relativamente grandes. Causado por la atracción terrestre, estas partículas, en dependencia de su tamaño, su peso y su concentración original, se sedimentan lentamente. La sedimentación es más rápida si la concentración de las partículas es más alta. El esquema siguiente muestra los tamaños de las partículas que frecuentemente forman parte de los aerosoles:

Figura 79 Diámetro de partículas



La atmósfera terrestre, prácticamente siempre, es un aerosol natural. De sus propiedades concretas, dentro de una región o a una altura concreta, dependen los fenómenos del tiempo, como la formación de las nubes, las nieblas, las lluvias, las nevadas, las granizadas, el rocío y la escarcha. La formación de las gotas de agua o de los cristalitos de nieve empieza con la condensación del agua en la superficie de las partículas sólidas del aerosol natural. Por esto se habla de gérmenes de condensación.

Los aerosoles como contaminantes del aire tienen importancia por los varios efectos que ellos causan:

- Ellos aumentan el enturbiamiento de la atmósfera y reducen su transparencia para la radiación solar y la vista.

Las partículas con un diámetro entre $0.1 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$ tienen la mayor influencia porque su diámetro corresponde a la región de las longitudes de onda de luz visible ($0.4 \mu\text{m}$ - $0.8 \mu\text{m}$), lo que causa una fuerte difusión de la luz.

Debido a la alta carga de polvo en las ciudades que es entre 2 y 3 veces mayor que en las zonas rurales, la intensidad de la radiación solar a la altura del suelo es del 15 % hasta el 20 % menor. Las contaminaciones muy intensas pueden reducir la radiación solar hasta por el 30 %.

De esta manera los aerosoles pueden influir fuertemente sobre los equilibrios de la energía radiante y con esto sobre el clima.

- Los aerosoles son transportadores excelentes para las sustancias nocivas y tóxicas que no son suficientemente volátiles para distribuirse en el aire.

De esta manera, los metales pesados en forma de sus óxidos, silicatos, sulfuros, sulfatos, nitratos, fosfatos, halogenuros, etc., numerosos compuestos químico-orgánicos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos que son cancerígenos y muy abundantes en los aerosoles dentro de las ciudades, y los extremadamente peligrosos polvos de fibras de asbesto que causan también el cáncer, pueden entrar fácil y profundamente en las vías respiratorias y allá desarrollar eficazmente su acción nociva.

Tabla 30 Algunas clases de sustancias químico-orgánicas, detectadas en aerosoles en las ciudades

Alcanos	Fenoles clorados
Alquenos	Esteres
Alquilbencenos	Aldehídos
Naftaleno	Ácidos carboxílicos alifáticos
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Diácidos aromáticos
ácidos carboxílicos aromáticos	N-nitrosaminas !
Cetonas cíclicas	Compuestos nitro
fenoles	Compuestos heterocíclicos de azufre

Muchos aerosoles, como las nubes y nieblas, son naturales. Otros aerosoles, sin duda alguna, son de origen antropógeno. La fuente más importante para los aerosoles naturales es el mar. El viento y la espuma de las olas causan la formación de pequeñas gotitas arrastradas por el viento. El agua se evapora rápidamente y las sales se quedan finamente distribuidas en el aire.

El segundo lugar, en cuanto a su importancia como fuente de aerosoles naturales, lo ocupan los polvos minerales que tienen su origen en los desiertos y otros terrenos secos. Se estima que entre 200×10^6 y 500×10^6 t de este polvo entran anualmente en la atmósfera. El 20 % es transportado a largas distancias. Los restos de estos polvos se pueden encontrar hasta en las regiones de aire limpio con una concentración de fondo de cerca de 300 partículas por cm^3 . Su composición media corresponde más o menos a la de la corteza terrestre. Otras fuentes de polvo mineral son los volcanes y los incendios naturales de bosques y estepas.

Tabla 31 Fuentes de aerosoles

Fuentes naturales	[10^6 t/a]
Emisiones directas	
Sales de mar	1000
Polvo mineral	200 – 500
Volcanes (polvo)	10 – 20
Incendios	3 – 30
Material orgánico biológico	80
Emisiones indirectas	
Sulfatos SO_4^{2-}	100 – 200
Nitratos NO_3^-	75 – 400
Amonio NH_4^+	250
Partículas sólidas vapores orgánicos	75 -200
De gases volcánicos	15
Fuentes antropógenas	[10^6 t/a]
Emisiones directas	
Polvos	90 - 135
Emisiones indirectas	
Sulfatos	100 – 200
Nitratos	30 – 135
Sólidos de combustiones	30

Las fuentes antropógenas son todo tipo de combustiones (cenizas y hollín), algunos procesos industriales, como los procesos metalúrgicos, el trasbordo de cargas sólidas a granel y, no en último lugar, el tráfico (el desgaste de las llantas, los sólidos en los gases de escape, el polvo arremolinado). Los polvos de origen antropógeno consisten predominantemente de partículas de un diámetro menor de 10 μm .

Los diámetros de las partículas del polvo atmosférico pueden variar entre 0.2 μm y más que 500 μm . Sin embargo, las partículas entre 0.5 μm y 50 μm son las más abundantes. Cuanto más fino es el polvo tanto más complicado es su eliminación y tanto más profundo entra en las vías respiratorias.

8.2 Las composiciones y transformaciones de los aerosoles, su tiempo de vida

La composición de los aerosoles puede ser muy variable. Es posible encontrar en los aerosoles atmosféricos prácticamente cada elemento químico y muchos compuestos químico-orgánicos. Sólo hay que sacar las muestras de volúmenes de aire suficientemente grandes y hay que disponer de métodos analíticos suficientemente sensibles.

La composición de los aerosoles depende mucho de su origen. La tabla siguiente muestra la composición típica de los aerosoles continentales.

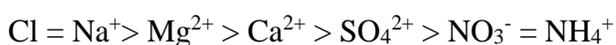
Tabla 32 Las concentraciones de algunos elementos químicos en los aerosoles continentales

Elementos	Concentración [ng/m^3]
C	30 000
Si, S	10 000
Fe, Ca, Al, Na, Mg, K, N, H	3 000
Zn, Cl, Pb	1000
Ti, Br	300
Mn, P, Ba, F, V	100
Ni, Sn, Cr, Sr	30
Cd, Sb, B, As, Mo	10
Li, Co, Se, Ag, Hg	3
Ga, W, Cs, Te, Sm	1
Lantánidos, U, In	0.3
Au, Tl	0.1

Los iones disueltos en el agua de las lluvias tienen su origen, por un lado, en los aerosoles primarios, es decir, sus fuentes son los diferentes polvos que entraron a la atmósfera (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Cl^-), y por otro lado, ellos resultan de las reacciones de diferentes gases en la atmósfera, es decir, de los aerosoles secundarios. Los iones de este tipo son p. ej. SO_4^{2-} , NO_3^- y NH_4^+ .

La frecuencia de los diferentes iones puede dar informaciones sobre el origen de un aerosol.

→ Frecuentemente el origen continental



Frecuentemente el origen marítimo ←

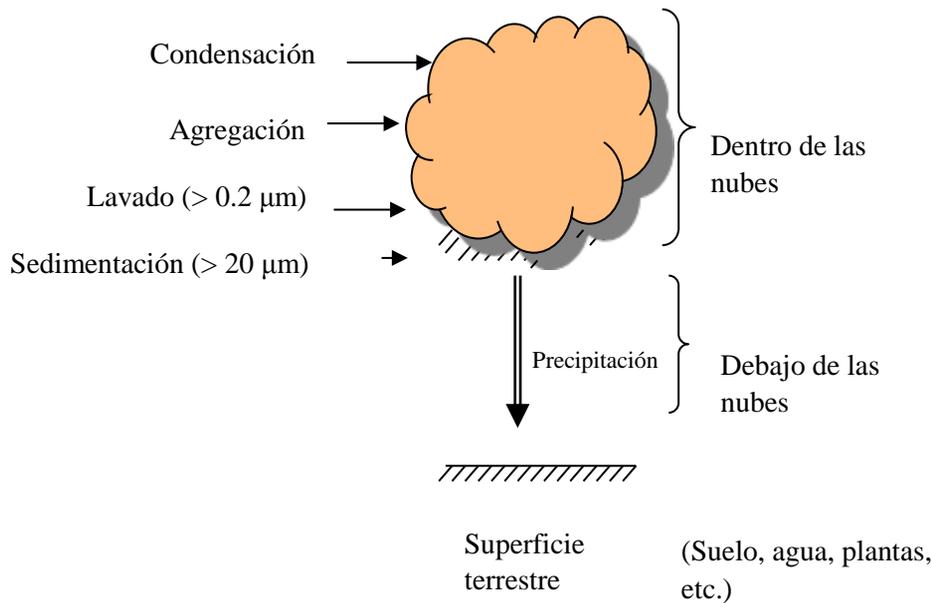
Sobre todo, causado por la combustión de los combustibles fósiles, muchos metales pesados llegan a la atmósfera y son distribuidos por los vientos. Por lo tanto, los metales pesados son típicos para los aerosoles continentales.

Los aerosoles primarios, en la mayoría de los casos, son formados por la dispersión de material en el aire. Se habla de un aerosol de dispersión. Los aerosoles secundarios se forman a partir de muy pequeños núcleos de sustancias químicas (sobre todo sales) que resultan de reacciones entre diferentes gases. A partir de estos núcleos de condensación o de cristalización se forman partículas más grandes por agregación de otras partículas iguales o diferentes. Se habla de un aerosol de nucleación. Tales aerosoles consisten de partículas más pequeñas (diámetros $< 10 \mu\text{m}$) que los aerosoles primarios.

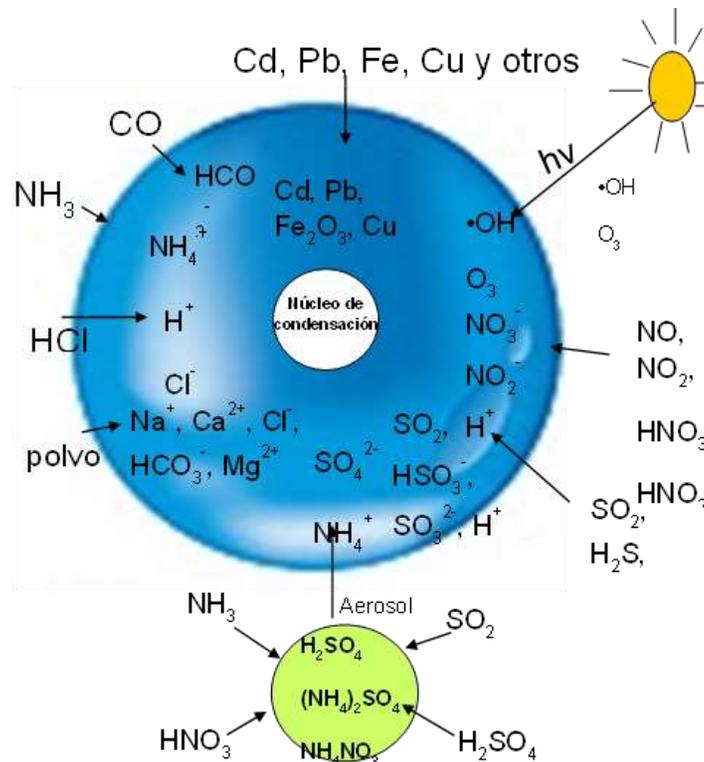
Las precipitaciones transportan las partículas de los aerosoles hacia el suelo y los océanos. En dependencia del tamaño de las partículas, ellas interaccionan de manera diferente con el agua. Las más pequeñas (diámetros $< 0.1 \mu\text{m}$) forman los núcleos de condensación. Alrededor de ellas, causado por su superficie activa, empiezan a agregarse las moléculas de agua y, poco a poco, se forma una pequeña gotita. Estas gotitas empiezan a disolver partículas y gases solubles en agua.

A partir de tamaños de $> 0.1 \mu\text{m}$ empiezan procesos de adición o de agregación de otras partículas. Las gotas de agua disuelven más y más las sustancias solubles en agua. Por esto, las gotas de agua en el aire presentan un buen medio para diferentes reacciones químicas entre las moléculas disueltas, p. ej. para reacciones de oxidación con los oxidantes $\cdot\text{OH}$, OOH y O_3 , que también entran a las gotas de agua. De tal manera, dentro de las gotas pueden formarse nuevos compuestos que, si las gotas se evaporan ya dentro de la atmósfera, son los núcleos para otro tipo de aerosol.

Figura 80 Procesos de purificación y composición de una gota de agua en las nubes



La composición de una gota de agua

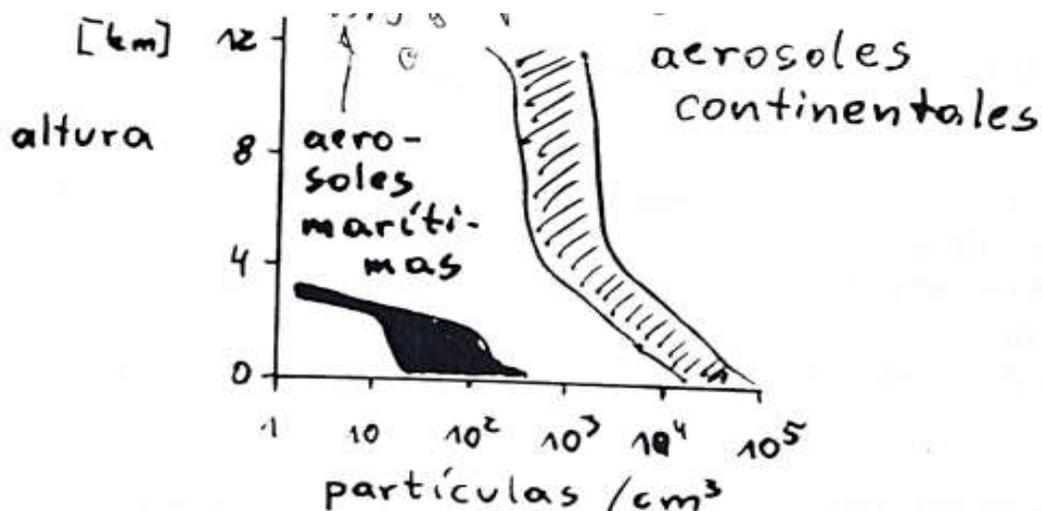


Las partículas de los aerosoles de diámetros mayores de $2\ \mu\text{m}$ son arrastradas por las gotas de lluvia, y las de diámetros todavía más grandes ($> 20\ \mu\text{m}$) sufren sedimentación lenta, también sin lluvias o nevadas. Entonces, el tamaño de las partículas determina decisivamente el tiempo de vida de un aerosol: Las partículas muy pequeñas ($< 0.1\ \mu\text{m}$) se comportan muy semejante a las moléculas. Ellas sufren frecuentemente choques con moléculas y otras partículas pequeñas. Su tiempo de vida es corto porque en algunas horas se conglomeran a partículas mayores.

El tiempo de vida de las partículas con diámetros $> 10\ \mu\text{m}$ (núcleos gigantes) tampoco es grande. Por causa de la gravedad, ellas sedimentan fácilmente. Las partículas con diámetros entre estos dos extremos se quedan en la atmósfera por algunos días (entre 4 y 6). Su tiempo de vida, por lo general, es limitado por las precipitaciones (lluvias, nevadas, etc.).

En las zonas urbanas el 85 % de la masa de los aerosoles (polvo en el aire) pertenece a las partículas de un tamaño $< 10\ \mu\text{m}$. Normalmente, si no hay vientos fuertes ni áreas grandes no afirmadas, sólo más o menos el 5 % de la masa del polvo en el aire tiene diámetros mayores de $30\ \mu\text{m}$. La concentración de los sólidos disminuye rápidamente con la altura.

Figura 81 Aerosoles continentales

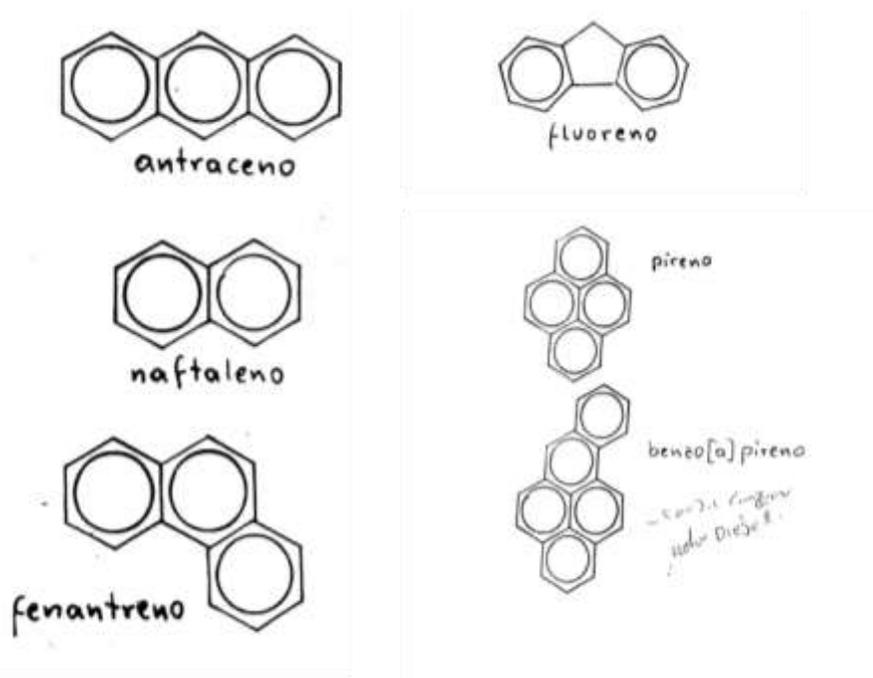


A la altura de 5 km, los aerosoles continentales contienen solamente entre 100 y 1000 partículas por cm^3 . Los núcleos de las sales de mar en los aerosoles marítimos alcanzan solamente alturas alrededor de 4 km. Las causas son: su propiedad de ser núcleos de condensación, su buena solubilidad en agua y la (normalmente) gran humedad del aire arriba de la superficie de los océanos. Cerca del suelo de los continentes, la concentración de los aerosoles normalmente varía entre $30\ \mu\text{g}/\text{cm}^3$ y $150\ \mu\text{g}/\text{cm}^3$.

8.3 La influencia de los aerosoles sobre los seres humanos

El polvo es (quizá) el portador más importante de las sustancias nocivas. Las partículas con diámetros $< 10\ \mu\text{m}$ son de mayor importancia para los seres humanos porque tienen un tiempo de vida suficientemente largo y, debido a su tamaño, entran fácilmente, casi como un gas, en la profundidad de los pulmones. Allí se quedan por largo tiempo (entre semanas y años), especialmente si se trata de sustancias no muy solubles en agua, como p. ej. los metales pesados y los hidrocarburos aromáticos policíclicos, y pueden desarrollar sus ataques contra la salud. Las sustancias más solubles en agua, como NH_3 , HCl , HCHO , etc., ya atacan las vías respiratorias más arriba de los pulmones.

Hay una clase de sustancias químico-orgánicas que forma parte de muchos aerosoles, sobre todo de los humos. Estos compuestos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (inglés: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH). Ellos son muy poco solubles en agua, forman parte del petróleo, del carbón y de muchos productos elaborados de ellos. Se forman también durante los procesos de combustión de todos los compuestos orgánicos. Por ser compuestos no polares, ellos entran y se acumulan fácilmente en las grasas.

Figura 82 Estructuras químicas de compuestos del benceno

Muchos representantes de esta clase de sustancias son cancerígenos, por lo menos en los experimentos con animales.

También algunos compuestos inorgánicos, aunque según su composición química no parecen sospechosos, pueden ser peligrosos, cuando forman parte de un aerosol. Se trata de polvos de silicatos. Uno es el propio cuarzo (SiO_2) que, en forma de polvo, causa la silicosis, una enfermedad muy común entre los mineros. El otro es el asbesto que, en forma de polvo, puede causar la asbestosis y el cáncer.

El peligro existe especialmente para los trabajadores que están expuestos de los polvos que contienen estas sustancias.

El asbesto (griego: asbestos = indestructible) es un material fibroso. Se diferencia entre dos tipos de asbestos: Los asbestos de serpentina consisten en fibras muy finas de un diámetro entre 18 nm y 30 nm con longitudes entre 0.2 μm y 200 μm . Este material resiste a temperaturas hasta de 1500 $^\circ\text{C}$ y, por esto, se usa en forma de tejidos como material ignífugo.

Los asbestos de anfíbol (anfíbol fibroso) consisten en fibras un poco más gruesas de un diámetro entre 60 nm y 90 nm y longitudes menores de 18 μm . Estos asbestos son menos resistentes a temperaturas altas (hasta de 1200 $^\circ\text{C}$) pero más resistentes a las influencias de ácidos.

Para el 95 % de las aplicaciones industriales, especialmente en el área de construcción como hormigón de asbesto (fibrocemento), se usa el crisólito que pertenece al primer tipo de los asbestos. Los materiales, hechos del hormigón de asbesto, contienen entre el 5 % y el 10 % crisólito, encerrado en el cemento. Por lo tanto, una vez elaborado, este material no es tan peligroso. Mucho más peligroso, y no únicamente para los trabajadores que lo elaboran, es el asbesto lanzado que, por el 90 %, pertenece al segundo tipo de los asbestos. Este material se usa como aislante térmico en las superficies de diferentes elementos de construcción. Con el movimiento del aire dentro de una construcción, algunas de las fibras salen y forman parte del aerosol.

Las fibras tan finas del asbesto entran a la profundidad de los pulmones y allá se quedan por muchos años y causan la enfermedad asbestosis que tiene un período medio de latencia de 17 años (!). Como resultado de una exposición durante largo tiempo, estas fibras causan con una probabilidad muy alta el cáncer de pulmón.

La concentración mínima técnicamente posible (valor TRK), que se puede lograr en espacios interiores, es de 500 hasta 1000 fibras de asbesto por m^3 de aire. En Alemania son prohibidos la mayoría de los productos que contienen asbesto y los que todavía están permitidos deben marcarse con un símbolo obligatorio.

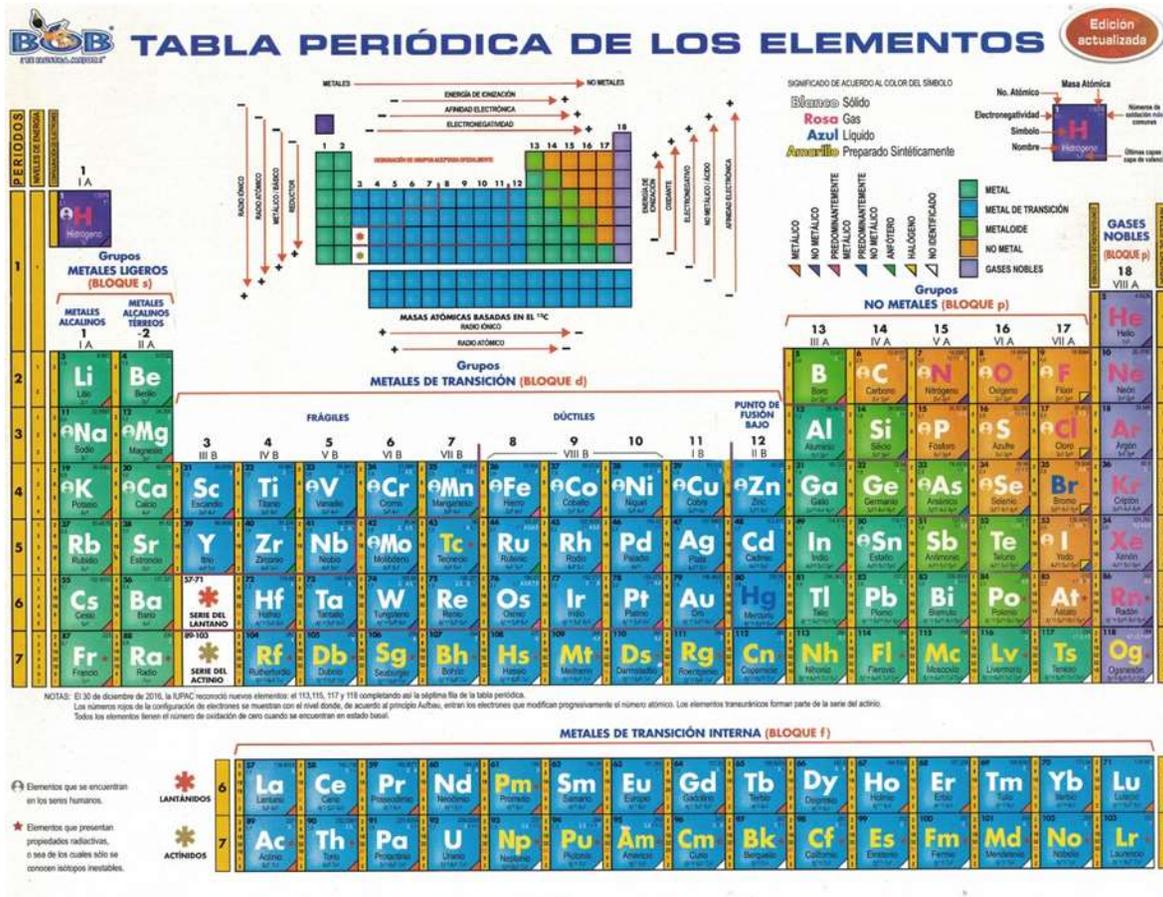
Capítulo III. El agua

1 Fundamentos

1.1 Las propiedades físicas y químicas

El agua es uno de los compuestos químicos más notables. Químicamente el agua es el óxido del hidrógeno (H₂O) que a su vez es el elemento químico más sencillo.

Figura 83 Tabla periódica



El agua muestra numerosas propiedades extraordinarias o anomalías que la diferencian claramente de los compuestos de hidrógeno análogos H₂X de los elementos del grupo VI A del sistema periódico de los elementos (Skoog et al., 2015)

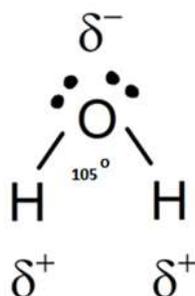
- Bajo las condiciones ambientales el agua es un líquido mientras que los hidruros de azufre, de selenio y de telurio son gases, aunque la masa atómica (g/mol) de estos elementos es considerablemente mayor que la del oxígeno (O = 16, S = 32, Se = 79, Te = 127.6). Los puntos de ebullición y de fusión del agua son relativamente altos. Esto garantiza la existencia de agua líquida en la superficie terrestre.
- El agua es indispensable para la vida terrestre mientras que los hidruros de S, Se y Te son venenosos.
- El agua muestra una anomalía de su densidad en dependencia de la temperatura. La densidad tiene su valor máximo a una temperatura de 4°C, lo que significa que el hielo flota sobre el agua y la temperatura en las profundidades de las aguas normalmente no baja a valores menores que 4°C. La causa es que la red cristalina del hielo tiene muchos espacios vacíos. Esto garantiza en las zonas más frías la sobrevivencia de la vida acuática en los inviernos. La dilatación del volumen durante el proceso de la congelación hace estallar las rocas y piedras en las zonas frías, transformándolas poco a poco en suelos. Por otro lado, el hielo funde cuando crece la presión. Por esto los glaciares bajan lentamente resbalando sobre una capa fina de agua.

- El descenso del punto de congelación para las aguas saladas no es muy alto. Por esto también los océanos de las regiones polares forman capas de hielo que protegen la vida en el agua más profunda.
- El agua tiene la capacidad calorífica más alta de todos los líquidos (con excepción del hidrógeno líquido). Para aumentar la temperatura de un mol (= 18 g) de agua en un °C se necesita suministrar 75.366 J (1 J = 4.1868 calorías) o para aumentar la temperatura de 1g de agua en un °C se necesita 1 caloría.

Por lo tanto, el agua es un excelente amortiguador para los cambios drásticos de la temperatura, lo que es importante para los seres vivos. Los océanos y lagos pueden acumular grandes cantidades de calor sin cambios considerables de su temperatura, lo que es muy importante para el clima mundial y hasta para los climas regionales y locales.

- El agua tiene el calor de evaporación (entalpía de evaporación) más alto de todos los líquidos. Para evaporar 1 mol de agua (= 18 g) es necesario suministrar 2281.9 kJ (= 9.7 kcal) o para evaporar 1 g de agua se necesitan 539.1 cal. Esto es muy importante para los seres vivos terrestres porque la transpiración causa eficazmente efectos refrescantes. Con la evaporación de muy poca agua el organismo puede bajar notablemente su temperatura.
- El agua, la nieve y el hielo muestran poca conductibilidad térmica. Esto causa, en dependencia de la temperatura, la formación de capas de agua en los lagos y los océanos y, en las zonas frías, evita también la congelación total de las aguas. El hielo y la nieve actúan como capa de protección para diferentes formas de vida contra temperaturas bajas.
- El agua tiene la tensión superficial más alta de todos los líquidos (con excepción de mercurio). Esto es muy importante para la formación de gotitas en las nubes y de gotas de lluvia.
- El agua tiene un momento dipolar muy alto y la más alta constante dieléctrica de todos los líquidos.

La causa resulta de la estructura de la molécula del agua:



Como resultado de esta estructura, las moléculas de agua pueden interactuar fácilmente tanto con aniones o centros negativos de otras moléculas como con cationes o centros positivos de otras moléculas. Además, los átomos de hidrógeno pueden interactuar con otros átomos que tienen un par de electrones libres formando de tal manera puentes de hidrógeno:



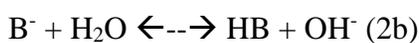
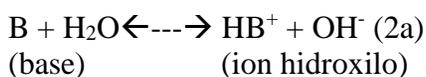
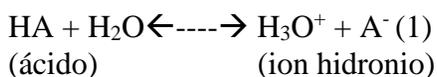
Por lo tanto, el agua es un disolvente excelente para una gran variedad de compuestos polares y de muchas sales. El agua juega un gran papel en el transporte de sustancias disueltas en el ciclo hidrológico y en los seres vivos. Por otro lado, el agua interactúa fácilmente con los centros polares de las superficies de muchos sólidos y entra en sus poros (procesos de adsorción). Esto causa su retención en los suelos a pesar de la fuerza de gravitación y su disponibilidad para las plantas.

Los puentes de hidrógeno se forman también fácilmente entre varias moléculas de agua. Cada átomo de oxígeno con sus dos pares de electrones libres puede interaccionar con un átomo de otras dos moléculas de agua y cada átomo de hidrógeno puede formar un puente de hidrógeno con un átomo de oxígeno de otra molécula de agua. Así, cada molécula de agua puede participar en cuatro puentes de hidrógeno y se forman agregaciones grandes de muchas moléculas de agua. De este hecho se explican también las anomalías de las propiedades del agua.

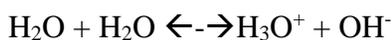
El agua es transparente para la radiación electromagnética entre los 180 nm y 780 nm y absorbe la radiación infrarroja. Esto, por un lado, garantiza la fotosíntesis y, por otro lado, sirve para el equilibrio térmico de la atmósfera (efecto invernadero natural) y causa el calentamiento de las capas superficiales de las aguas.

Químicamente el agua es un compuesto muy estable. A una temperatura de 2000 °C sólo el 2% del vapor de agua es desdoblado a hidrógeno y oxígeno.

Por otro lado, el agua actúa fácilmente como aceptor de iones hidrógeno H^+ (protones) y propiamente también puede ser un donador de protones. Por lo tanto, el agua reacciona tanto con compuestos ácidos de BRONSTED (donadores de iones hidrógeno) como con compuestos básicos (aceptores de iones hidrógeno):



Como una molécula de agua a la vez puede ser donador y aceptor de protones, en el agua existe el equilibrio:



De esta reacción de una molécula de agua con otra resulta en el agua pura (!) una concentración de cada uno de los iones hidronio e hidroxilo de 10^{-7} mol/L (pH = 7) *.

Si en una disolución acuosa la concentración de los iones hidronio es mayor que 10^{-7} mol/L [p. ej.: 10^{-5} (pH = 5), 10^{-1} (pH = 1), etc.] y por consiguiente la concentración de los iones hidroxilo es menor que 10^{-7} mol/L, hablamos de una disolución ácida. Si la concentración de los iones H_3O^+ es menor que 10^{-7} mol/L (p.ej.: 10^{-8} (pH = 8), 10^{-11} (pH = 11), etc.) y por consiguiente la concentración de los iones hidroxilo es mayor que 10^{-7} mol/L, hablamos de una disolución básica.

* El valor del pH = $-\log [H_3O^+]$

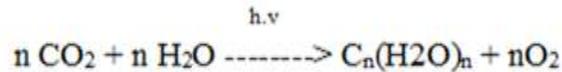
Cuanto más fuerte es un ácido tanto más el equilibrio de la ecuación (1) (página anterior) se encuentra al lado derecho, tanto mayor es la concentración de los iones hidronio y tanto menor es el pH.

Cuanto más fuerte es una base tanto más el equilibrio de las ecuaciones (2a) y (2b) se encuentran al lado derecho, tanto mayor es la concentración de los iones hidroxilo y, por consiguiente, tanto menor es la concentración de los iones hidronio y tanto mayor es el pH.

1.2 La importancia del agua

La tierra es el único planeta del sistema solar que tiene grandes partes de su superficie tapadas con agua líquida (más o menos el 70% = $363 \cdot 10^6$ km²). El agua es la sustancia más importante para toda la vida terrestre. Los cuerpos humanos y de los animales consisten entre el 60% y el 70% de agua y muchas plantas contienen más del 90% de agua.

Dentro de los cuerpos de los seres vivos, el agua actúa como medio de transporte. El agua participa directamente en la reacción química más importante y de mayor volumen que tiene lugar en la tierra: la fotosíntesis:



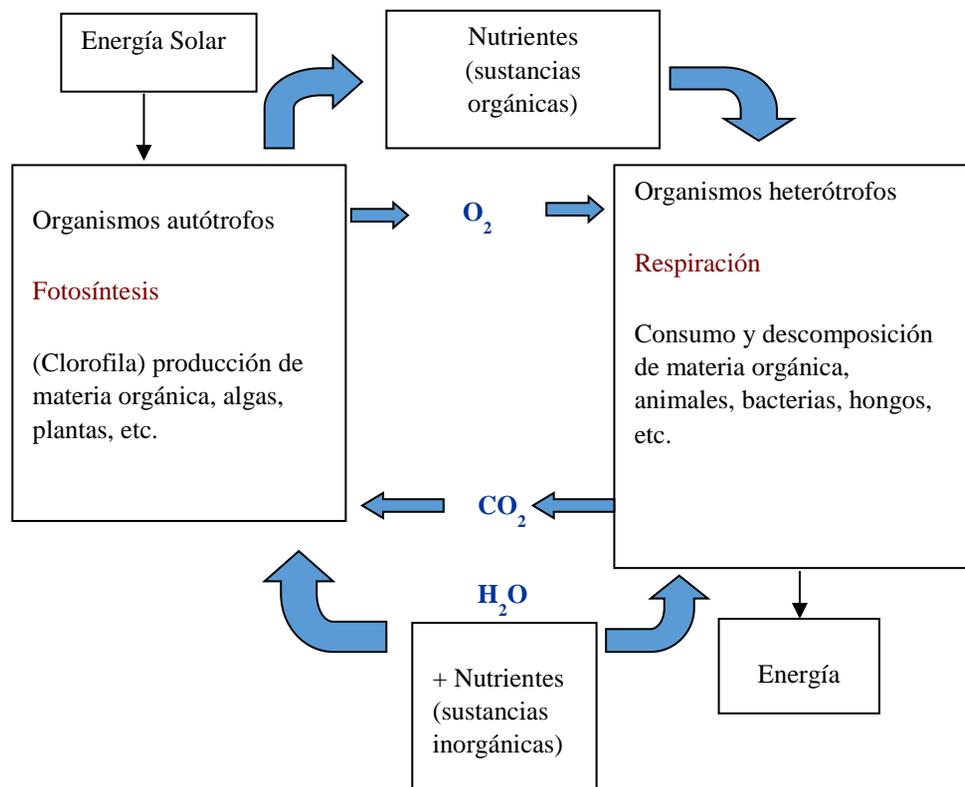
De esta manera, cada año más o menos 1.5×10^{11} t de agua reaccionan con el dióxido de carbono formando los carbohidratos. Con esta reacción la energía solar es transformada en energía química y acumulada en forma de compuestos orgánicos. Los organismos que realizan esta reacción se llaman organismos autótrofos.

Los carbohidratos, a su vez, son utilizados como alimento por los organismos más desarrollados. En el proceso de la respiración ellos transforman los carbohidratos con el oxígeno otra vez en agua y dióxido de carbono y generan de esta manera su energía vital.



Los organismos que viven de esta transformación se llaman organismos heterótrofos.

Figura 84 Interacción de los nutrientes con los organismos autótrofos y heterótrofos



Como se mencionó antes, en los organismos vivos el agua tiene la función de un medio de transporte. Las plantas utilizan únicamente el 1% del agua, que ellas aceptan por sus raíces, para la fotosíntesis. El 99% se evapora por las hojas y sirve de esta manera para regular la temperatura de las plantas. Las plantas influyen así directamente sobre el clima.

En la vida humana el agua sirve para muchas tareas:

- El agua es alimento y medio de limpieza.
- En la industria el agua puede ser materia prima, disolvente, medio de reacción (en la industria química) y medio de refrigeración.
- El agua es medio de transporte para mercancías (buques) y para contaminantes.
- Las aguas freáticas representan la reserva más importante para el agua potable.

El agua influye esencialmente sobre el clima por causa de su absorción infrarroja, su alta capacidad calorífica y por su alto calor de evaporación.

1.3 El agua como disolvente para compuestos gaseosos

La solubilidad en agua de los gases que forman parte del aire como gases naturales (O₂, N₂, CO₂, etc.) o como contaminantes (SO₂, NO₂, NH₃, etc.) es de gran importancia para todas las formas de la vida terrestre.

Hay que diferenciar entre dos casos:

- A. El gas disuelto no reacciona químicamente con el agua.
- B. El gas disuelto reacciona con el agua formando nuevas especies químicas.

Es posible describir el caso A) por el equilibrio: $X_{\text{gaseoso}} \leftrightarrow X_{\text{disuelto}}$

Un equilibrio de tal tipo depende de las propiedades del gas X, del disolvente y de su pureza (es decir, de la presencia de otras especies químicas disueltas), de la temperatura y de la presión parcial del gas sobre la superficie del disolvente.

Con la temperatura descendente y la presión parcial creciente el equilibrio pasa más al lado derecho, es decir la concentración del gas disuelto en la disolvente crece.

Tabla 33 La solubilidad de gases en agua

Gas	Solubilidad [mL/L]	
	0°C	20°C
N ₂	23.5	15.5
CO	35.4	23.2
O ₂	48.9	31.0
CO ₂	1710	878
H ₂ S	4670	2580
SO ₂	79800	39400

La ley de HENRY describe la dependencia entre la presión parcial y la concentración del gas disuelto en agua:

$$c(\text{X})_{\text{en agua}} = K_{\text{H}} \cdot P(\text{X})$$

(K_H es la constante de HENRY en mol/L · bar a una temperatura determinada).

Por ejemplo, la constante de HENRY para el oxígeno a una temperatura de 20°C tiene el valor de: K_H (oxígeno/20°C) = 1.27 × 10⁻³ mol/L · bar. Su parte volumétrica en el aire es del 20.95 %, lo que significa que de la presión total del aire de 1 bar los 0.2095 bar corresponden al oxígeno. Este valor es su presión parcial. La concentración máxima del oxígeno en agua a una temperatura de 20°C se calcula:

$$\begin{aligned} C(\text{O}_2)_{\text{disuelto en agua}} &= 1.27 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \cdot \text{bar} \cdot 0.2095 \text{ bar} = 0.266 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \\ &= 5.96 \text{ mL/L} \\ &= 8.5 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

La velocidad con la cual el sistema logra su equilibrio depende mucho de la magnitud de la superficie de la fase líquida. Por lo tanto, los equilibrios entre un gas y su disolución se establecen más rápidamente entre las gotitas de la neblina o de la lluvia y la atmósfera que entre un manantial y la atmósfera. Un arroyo en las montañas es más rico en oxígeno que la profundidad de un lago.

El caso B) significa que el equilibrio físico entre el gas y el gas disuelto es conectado con un equilibrio químico que disminuye la concentración del gas disuelto por ser consumido en la reacción química hasta que se establezca el segundo equilibrio:

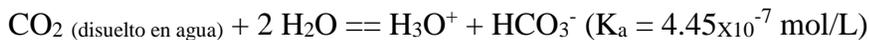
$X_{\text{gaseoso}} \Leftrightarrow X_{\text{disuelto}}$

$X_{\text{disuelto}} + \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{productos}$

La reacción química del segundo equilibrio causa una solubilidad mayor del gas.

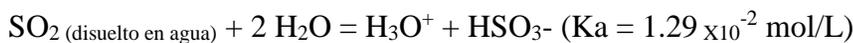
Dos ejemplos:

- El CO_2 tiene una constante $K_H = 36 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \cdot \text{bar}$ (para 20°C) y su parte volumétrica en el aire es de 357 ppm = 0.0357 % y por consiguiente su presión parcial es igual a 0.000357 bar. De estos valores se calcula una solubilidad física del CO_2 en agua de $12.9 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ a una temperatura de 20°C . Si se toma en cuenta el equilibrio químico (sin explicar los cálculos en detalle):



Resulta una solubilidad total del CO_2 en agua de $15.3 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, lo que es un aumento del 19 %. A la vez resulta una concentración de los iones hidronio de $2.39 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, lo que corresponde a un pH de 5.62.

- El SO_2 tiene una constante $K_H = 1.62 \text{ mol/L} \cdot \text{bar}$ (a 20°C) y para una parte volumétrica en el aire de 2 ppb resulta su solubilidad física en agua a una temperatura de 20°C de $3.24 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$. Para el aire más contaminado con SO_2 (500 ppb) resulta un valor de la solubilidad física de $0.81 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$ a una temperatura de 20°C . Si se toma en cuenta el equilibrio químico:



Resulta para la concentración de 2 ppb en el aire una solubilidad total del SO_2 en agua de $7.1 \times 10^{-6} \text{ mol/L} = 0.16 \text{ mL/L}$ y para la concentración de 500 ppb, una solubilidad total de $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ (= 2.4 mL/L). Para el segundo caso, la concentración de los iones hidronio es de $6.46 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, lo que corresponde a un pH de 5.19.

2 El ciclo de agua y las cargas del agua

2.1 Las relaciones cuantitativas en el ciclo de agua

Cuando hablamos de la hidrosfera (griego: hydor = agua), entonces hablamos de los océanos, lagos, ríos, de las aguas freáticas, del hielo y la nieve en las zonas polares y de los glaciares.

En la superficie terrestre el agua es el compuesto químico más abundante. Su volumen total es de $1.409 \times 10^9 \text{ km}^3$ y su masa total es de $1.409 \times 10^{18} \text{ t}$.

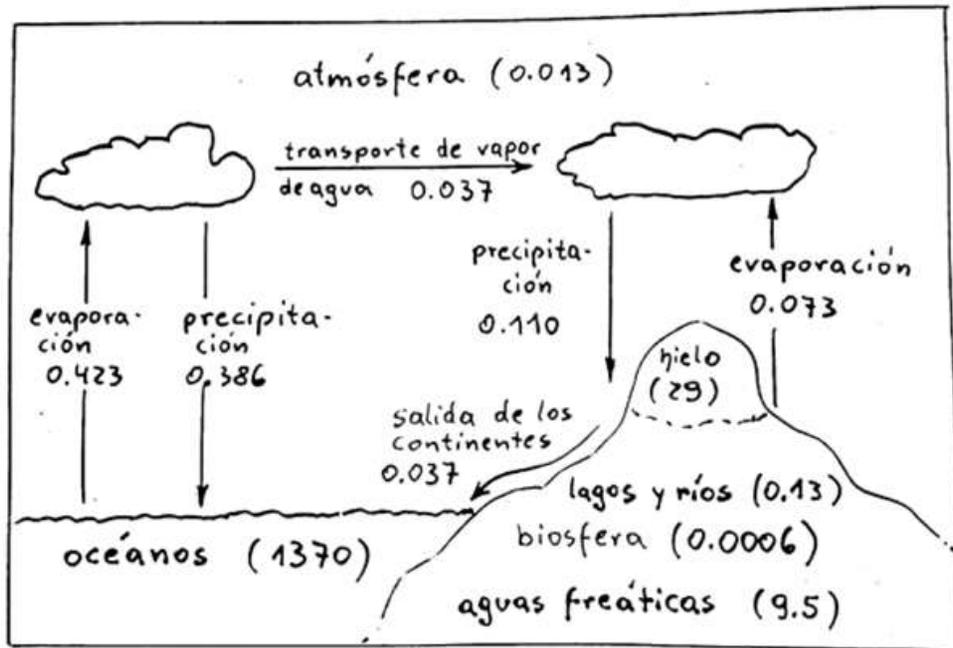
Más del 95 % son los océanos, menos del 3 % de la hidrosfera se encuentra en los continentes, las aguas freáticas solamente son el 0.67 % y en la atmósfera se encuentra el 0.001 % de toda el agua. Aunque el agua es tan importante para la biosfera, ella contiene la menor parte, que es solamente el 0.00004 % del agua terrestre.

Tabla 34 Reservas de agua en la tierra

Volumen [10^6 km^3]	
Océanos	1370
Hielo y Nieve	29
Aguas freáticas	9.5
Aguas superficiales (ríos, lagos, etc).	0.13
Atmosfera	0.013
Biosfera	0.0006

El agua terrestre, como todas las sustancias, siempre se encuentra en movimiento. El ciclo natural del agua es mantenido en marcha, en primer lugar, por la radiación solar. Dentro del ciclo natural del agua, la atmósfera y especialmente la troposfera inferior juega un papel muy importante. Ella prácticamente es el “tubo” por el cual pasan anualmente más o menos $0.5 \times 10^6 \text{ km}^3$ de agua por los procesos de su evaporación en las superficies de las aguas, directamente a partir de los suelos y por la transpiración de las plantas. En la troposfera el agua, sobre todo en forma de nubes, es transportada a otros lugares y después regresa en diferentes formas de precipitaciones a la superficie de la tierra.

Figura 85 Ciclo global de agua



La mayor parte del vapor de agua (el 85 %) viene de los océanos. La transpiración de las plantas puede tener importancia para el clima regional y local, p. ej. un árbol grande puede evaporar diariamente entre 400 L y 500 L de agua y un girasol de unos 2 metros de altura hasta 1L por día. Pero en comparación a la cantidad del agua evaporada de las superficies de los océanos, la transpiración de las plantas no tiene gran influencia sobre el ciclo natural del agua.

Los tiempos de retención del agua dentro de los diferentes reservorios naturales difieren mucho. En la atmósfera el agua se queda entre 8 y 9 días antes de sufrir algún tipo de precipitación. Para los continentes y los océanos se estiman tiempos de retención entre 1700 y 3000 años.

De la cantidad del agua que se evapora anualmente, de su contenido medio en la atmósfera y de su tiempo de retención en la atmósfera se puede calcular que el agua atmosférica es intercambiada más o menos 40 veces durante un solo año.

El agua también es uno de los productos de la combustión de los combustibles fósiles y de la biomasa. Sin embargo, en comparación a otros productos gaseosos de estos procesos, la cantidad del agua formada es insignificante para el ciclo natural del agua. Esta observación no es válida para el tráfico aéreo en la troposfera superior y en la estratosfera (!). Allá, la combustión es la fuente local única de vapor de agua y, por esto, influye significativamente sobre la concentración y distribución del vapor de agua en estas regiones de la atmósfera.

El balance entre la cantidad de las precipitaciones y la cantidad de la evaporación del agua puede variar mucho en las diferentes regiones del mundo.

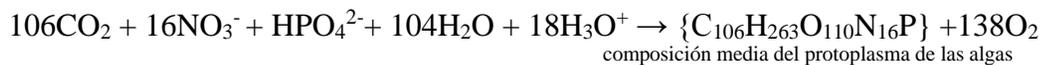
2.2 Las aguas naturales y los océanos

El agua es un buen disolvente para los compuestos polares y para los iones. Por esto, en la naturaleza no hay aguas químicamente puras. Diferenciamos entre las aguas dulces, que normalmente son las aguas de los continentes, y las aguas saladas de los océanos. La tabla siguiente muestra la composición química media de estos dos tipos de aguas:

Tabla 35 Composición química (media) de las aguas superficiales (naturales)

Componente Químico	Agua dulce [mg/L]	Agua de mar [mg/L]
HCO ₃ ⁻	15.25 - 245	153
Ca ²⁺	2 - 120	400
H ₄ SiO ₄	5.8 - 58	7.7
Mg ²⁺	0.5 - 39	1215
Cl ⁻	0.7 - 70	17750
Na ⁺	0.5 - 58	11500
pH	6.5 - 8.5	8.1

El agua de los océanos, según un modelo simple, forma tres capas. Una capa superficial de más o menos 75 m es relativamente caliente y bien entremezclada. Acá las condiciones son adecuadas para que el fitoplancton (griego: phyton = planta; plagkton = algo que es arrastrado por la corriente) pueda realizar la fotosíntesis. De esta manera, compuestos inorgánicos son transformados en relaciones 106 C:16 N:1 P a materia orgánica y a oxígeno. Esquemáticamente es posible describir este proceso por la ecuación:



Con el fitoplancton empieza una de las cadenas alimenticias más importantes. Todo lo que causa daños al fitoplancton influye mucho sobre gran parte de la vida terrestre.

Debajo de la capa de las aguas superficiales sigue una capa intermedia con un espesor entre 800 m y 1000 m y una temperatura significativamente más baja. Esta capa se llama termoclina. La termoclina, a lo largo de años, es entremezclada lentamente tanto con el agua superficial como con el agua fría del mar profundo que forma la tercera capa. El agua del mar profundo tiene un tiempo de retención entre 400 años en el Atlántico y 1000 años en el Pacífico. Su intercambio con el agua superficial tiene lugar en las regiones más cerca a los polos terrestres. Allá el agua superficial muy fría y por lo tanto pesada baja lentamente y pasa en corrientes lentas hacia las regiones más cerca del ecuador. Se estima que de esta manera anualmente entre 1. 10⁶ km³ y 2. 10⁶ km³ de agua son intercambiados.

2.3 Las cargas de las aguas

El uso múltiple del agua tanto en las casas particulares como en la industria y la utilización de los fertilizantes químicos en la agricultura causan gran variedad de cargas de las aguas (sin hablar de la mala costumbre de varios países, de descargar en alta mar sus desechos, que muchas veces son muy peligrosos).

Algunas de estas cargas de origen antropógeno son idénticas a las sustancias nutritivas para las plantas. Se trata de los compuestos de nitrógeno y de fósforo. Su excedente causa en las aguas superficiales el crecimiento rápido de algas. Se habla de aguas eutróficas o de la eutrofia de un lago o río (griego: eutrophia = bien alimentado).

La consecuencia es que la luz solar ya no puede penetrar el agua hacia las capas más profundas y allá la fotosíntesis se detiene, lo que significa que también la formación de oxígeno se detiene. El material orgánico muerto de la superficie se hunde y su descomposición gasta el resto del oxígeno en las capas más profundas y los peces y otras formas de vida que necesitan el oxígeno mueren. La eutrofia es perceptible por el cambio del color de la superficie del agua causado por la gran cantidad de las algas. En casos extremos, especialmente en las aguas más calientes, es posible que ya no haya nada de oxígeno en el agua y el sistema cae en condiciones anaeróbicas.

Las sustancias de nitrógeno que llegan a las aguas tienen su origen sobre todo en la agricultura, si se utilizan los fertilizantes en exceso. Las sustancias de fósforo, a parte de la agricultura, llegan en forma de detergentes también en grandes cantidades de las casas particulares hacia las aguas.

Tabla 36 Ejemplo de descarga de N y P del año 1989 en un país desarrollado

Fuente	%N	%P
Agricultura	54	40
Casas	30	39
Industria	12	7
Otras	4	14

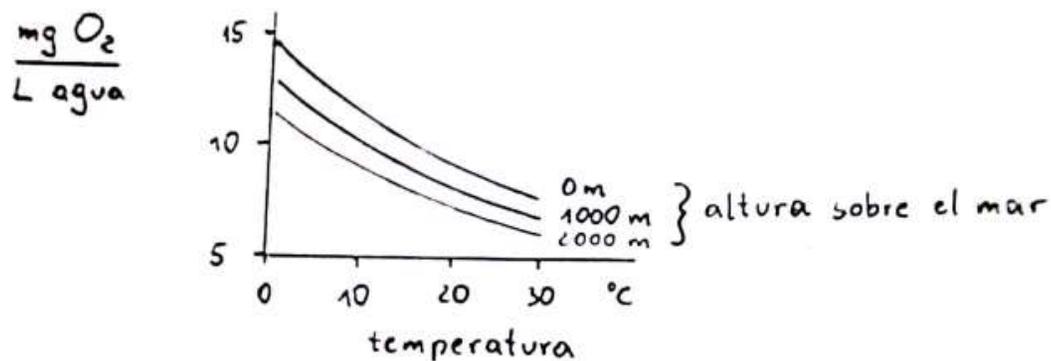
1 g de fósforo es suficiente para la biosíntesis de 114 g de biomasa seca de las algas. Este proceso, la fotosíntesis, forma a la vez 140 g de oxígeno. La degradación de estos 114 g de biomasa consume estos 140 g de oxígeno otra vez. Por esto, en varias aguas cargadas con mucho fósforo o con mucha biomasa muerta, las partes profundas ya se encuentran bajo condiciones anaeróbicas y no ofrecen ninguna posibilidad para cualquier forma de vida más desarrollada.

En muchos países ya existen leyes para reducir la entrega de estas sustancias a las aguas naturales. Por lo general, todas las aguas residuales contienen también muchas sustancias nutritivas para los microorganismos (bacterias, etc.). Si el contenido de oxígeno es suficientemente alto abundan los microbios aeróbicos, en el caso contrario, los anaeróbicos. Por esto, la cantidad de las aguas negras, aunque no contengan sustancias tóxicas, que entra a algún lago o río determina decisivamente las condiciones para la vida en este compartimiento.

Los sistemas acuáticos tienen cierta capacidad para su auto purificación (micro) biológica. El proceso más eficaz es el proceso aeróbico. Bajo estas condiciones, es decir, en presencia de oxígeno suficiente, los productos de la biodegradación de las sustancias orgánicas, su mineralización, son el CO_2 , el nitrato (NO_3^-) y el sulfato (SO_4^{2-}).

Cuando baja la concentración del oxígeno, algunos microbios pueden aprovechar de otros oxidantes para su metabolismo, como el nitrato o el sulfato. Estos son los microbios facultativamente anaeróbicos. Otros microbios pueden existir únicamente bajo ausencia de oxígeno. Los productos de la biodegradación anaeróbica son el metano (CH_4), el amoníaco (NH_3) o las aminas (R-NH_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S). Todos estos productos causan el mal olor de la putrefacción.

La tendencia hacia las condiciones anaeróbicas crece con la temperatura y la altura sobre el nivel del mar, porque la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura creciente y la presión atmosférica decreciente.

Figura 86 Solubilidad de oxígeno en el agua

Por esto, en las regiones tropicales y en las alturas las aguas tienen menor capacidad de su autpurificación que en las zonas templadas y más cercanas al nivel del mar.

Causar el aumento de la temperatura de un río, p.ej. por procesos industriales, significa disminuir su capacidad de autpurificación.

En dependencia de su origen, las aguas residuales de la industria y de la minería pueden ser cargadas con diferentes tipos de sales (cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, etc.) en cantidades muy variables, aunque, de pura vista, el agua quizás aparezca ser relativamente limpia. Por causa de su solubilidad excelente es muy difícil separar estas sales del agua, lo que puede causar problemas para la generación de agua potable o para los cultivos, si se utiliza tal tipo de agua para el riego.

2.4 La calificación de los contaminantes de las aguas

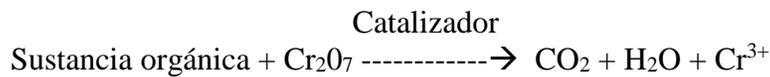
Los contaminantes de las aguas son sustancias que cambian negativamente las propiedades del agua como espacio vital, como medio nutritivo de las plantas y los animales terrestres y, sobre todo, como recurso natural para el agua potable. Los contaminantes pueden ser sustancias biodegradables o sustancias no biodegradables o, por lo menos, difícilmente degradables.

El caso ideal de la autpurificación es la degradación hasta la mineralización total, lo que quiere decir que los productos de la degradación lleguen a ser nada más que sustancias químico-inorgánicas. Sin embargo, muchas veces los procesos de la degradación terminan ya antes y se forman productos estables que son contaminantes secundarios. Algunos contaminantes, como p. ej. los compuestos orgánicos clorados, pueden acumularse en las aguas, los sedimentos o hasta en los organismos acuáticos.

Para evaluar la calidad de agua se utilizan diferentes tipos de determinaciones:

Un método consiste en diferentes pruebas biológicas, usando bacterias, algas, pulgas acuáticas o peces. Bajo condiciones bien determinadas y reproducibles se mide el efecto que causa algún contaminante en una concentración determinada sobre los objetos biológicos utilizados en la prueba. Típicamente se determinan los llamados valores EC_0 , EC_{50} y EC_{100} (= la concentración efectiva, inglés: Effective Concentration). Los subíndices de los valores EC significan el porcentaje de los organismos utilizados en la prueba que muestran después de un tiempo determinado (24.....96 h) algún efecto.

Otro método es la determinación de la demanda química de oxígeno DQO, (inglés: Chemical Oxygen Demand, COD, alemán: CSB). Estos valores DQO son parámetros sumarios que sirven para evaluar la carga total del agua. El valor DQO es la cantidad de oxígeno en mg/L, disuelto en el agua, que es necesaria para oxidar totalmente los contaminantes (en su mayoría los compuestos químico-orgánicos). Para determinar este parámetro usualmente se realiza la oxidación bajo condiciones drásticas con el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en disolución ácida (ácido sulfúrico) en presencia de iones de plata (Ag^+) como catalizador a una temperatura de 148 °C durante 2 horas, para garantizar también la oxidación de los contaminantes difícilmente degradables. Bajo estas condiciones se logra la oxidación del 95 % al 97 % de las sustancias orgánicas:



Cuanto mayor es la concentración de las sustancias oxidables (= sustancias con propiedades reductoras) tanto mayor es el consumo del dicromato de este consumo se calcula la cantidad de oxígeno que (teóricamente) causaría el mismo efecto de oxidación.

Los valores DQO típicos de algunos tipos de agua son:

- Un río limpio "normal" 5 - 20 mg/L
- Las aguas residuales de una comunidad sin influencia notable por aguas negras industriales, después del tratamiento biológico 20 - 100 mg/L
- Las aguas residuales de una comunidad no pretratadas 300 - 1000 mg/L
- Las aguas de infiltración de un vertedero de basura 22,000 mg/L

El valor DQO es un índice muy importante para evaluar la carga total del agua con los compuestos orgánicos y sirve para cuantificar los daños que causa una fuente de contaminación de agua.

Por su manera de determinarlo, el valor DQO contiene la suma de los contaminantes biodegradables y los contaminantes no biodegradables.

Otro parámetro sumario importante para evaluar la calidad del agua es la demanda bioquímica (o biológica) de oxígeno DBO, (inglés: Biochemical Oxygen Demand, BOD, alemán: BSB).

El valor DBO es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua en mg/L que las bacterias asimilan para oxidar enzimáticamente las sustancias biodegradables a CO₂ y otros productos de oxidación dentro de un tiempo determinado.

En las aguas residuales comunales las bacterias necesitan más o menos 20 días para degradar las sustancias biodegradables. Después de los primeros 5 días el 70 % de las sustancias es oxidado. Por esto, frecuentemente se utiliza el valor DBO₅ para caracterizar y comparar las aguas contaminadas.

El valor DBO₅, es la cantidad de oxígeno en mg/L que las bacterias y otros microorganismos consumen dentro de 5 días en la oscuridad a una temperatura de 20 °C para oxidar bioquímicamente las sustancias biodegradables.

Cuanto mayor es el valor DBO₅, tanto mayor es la cantidad de las cargas biodegradables. Los microorganismos, aparte de los productos de degradación, forman biomasa de su propia especie:

Sustancias biodegradables + O₂ + CO₂ + H₂O (+ NO₃⁻ + SO₄²⁻ + CT, etc. + biomasa

Esta reacción es de gran importancia también para las plantas de tratamiento microbiológico de aguas residuales y para la degradación de las sustancias orgánicas en los suelos.

La diferencia entre los valores DQO y DBO corresponde a las sustancias no degradables biológicamente en el agua.

El coeficiente de degradación bioquímica

$$\alpha = \frac{\text{DBO}_5}{\text{DQO}}$$

Teóricamente puede tener valores entre 0 y 1. Cuanto el valor de α es más cerca de cero tanto mayor es la parte de las sustancias no biodegradables. En este caso las aguas necesitan un pretratamiento especial antes de dejarlas entrar a una planta de tratamiento microbiológico o a las aguas naturales.

Los valores DBO, típicos de algunos tipos de agua son: - un río limpio "normal"

6 mg/L

- Las aguas residuales comunales después del tratamiento biológico en una planta de tratamiento 20 mg/L
- Las aguas residuales comunales antes del tratamiento biológico en una planta de tratamiento 250 mg/L
- Las aguas negras de la industria alimenticia 5,000 mg/L
- Las aguas de infiltración de un vertedero de basura 3,000 mg/L.

Si las aguas contaminadas contienen concentraciones altas de las sustancias biodegradables, entonces el contenido de oxígeno puede ser insuficiente para determinar el valor DBO₅. En estos casos hay que diluir exactamente las aguas contaminadas y calcular el valor DBO₅ para el agua no diluida.

Algunas sustancias inorgánicas, como p. ej. el amoníaco, consumen también oxígeno y, de esta manera pueden simular valores DBO₅, más altos. Además, hay sustancias venenosas para los microbios que causan la deceleración o hasta la inactivación total de la biodegradación.

Para diseñar las dimensiones de una planta de tratamiento de aguas residuales es importante saber ya antes la cantidad y la calidad de las cargas que pueden tener las aguas que entrarán a la planta.

Normalmente hay una mezcla de aguas residuales de origen habitacional e industrial. Para comparar y calcular las cantidades de los contaminantes frecuentemente se usa un valor patrón del DBO₅ que corresponde a la cantidad de la contaminación que causa un habitante por día. En una ciudad europea, por término medio, un habitante produce diariamente 200 L de agua contaminada con una cantidad de contaminantes que corresponde a un valor DBO₅ de 0.3 g/L o en total de 60 g oxígeno por día. Una carga del agua que corresponde a esta cantidad de oxígeno es el valor patrón para comparar las cargas de diferentes tipos y orígenes.

Para dimensionar una planta de tratamiento de aguas residuales hay que calcular la cantidad de los habitantes más la suma de todos los valores patrón que corresponden a las diferentes industrias y sus cargas (ejemplos vea en la tabla siguiente).

Tabla 37 Cantidad de producto que, para su producción, causa los mismos valores DBO₅ de las aguas residuales que 1000 habitantes

Producto	Cantidad
Cerveza	2800-6500 L
Mantequilla	1-2t
Enlatados de pescado	2t
Embutidos y productos cárnicos	3-8t
Margarina	2t
Leche	14,000 – 40,000L
Conservas	2t
Papel	1-5t
Jabón	1t
Vino	7,000 -10,000L
Celulosa	0.2- 0.25 t

Para evaluar la calidad del agua también se usan los parámetros sumarios:

- El valor AOX, que es la suma de la cantidad de todos los halógenos químicamente fijados en compuestos orgánicos que pueden ser adsorbidos por carbón activado.
- El valor TOC (inglés: Total Organic Carbon), que es la cantidad de todo el carbo no fijado en compuestos orgánicos (incluyendo la materia viva) sin tener en cuenta el estado de oxidación de cada uno de los átomos de de carbono.

A veces se divide el valor TOC todavía en:

- El valor DOC (inglés: Dissolved Organic Carbon), que es la cantidad de todo el carbono fijado en compuestos orgánicos disueltos en el agua.
- El valor POC (inglés: Particulate Organic Carbon), que es todo el carbono fijado en compuestos orgánicos en forma de partículas incluyendo la materia viva y sus restos muertos.

Aplicando los diferentes parámetros para la evaluación de la calidad del agua de un río, lago, etc. es posible clasificar las aguas. La tabla siguiente muestra una clasificación típica para los países europeos:

Tabla 38 Calificación de aguas según su calidad

Categoría de calidad	Saturación de O ₂ (%)	O ₂ (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Grado de Carga
I	100	>8	1	No cargada o muy poco cargada
I-II	85 - 100	>8	1-2	Poco cargada
II	70 - 85	>6	2 - 6	Moderadamente cargada
II - III	50 - 70	>4	5 - 10	Cargada hasta un valor crítico
III	25 - 50	>2	7 - 13	Fuertemente cargada
III - IV	10 - 25	<2	10 - 20	Muy fuertemente cargada
IV	0 - 10	<2	>15	Demasiado cargada

3 Las cargas de agua especiales

3.1. Los detergentes

El agua natural nunca es químicamente pura. Por ser un muy buen disolvente polar, siempre contiene algo disuelto, por lo menos los gases dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, hasta en lugares muy lejanos de las actividades humanas. Además, el agua natural normalmente contiene también los iones de sodio, calcio, magnesio y fierro.

Si hablamos de agua "pura", entonces siempre se trata de agua que no contiene ninguna impureza en una concentración que impida la utilización deseada, p. ej. como agua potable, para peces, para la agricultura, para bañarse o como medio de reacción en la industria química, etc. El agua que es pura para algún fin, no necesariamente es pura para otro. Cada sustancia en una concentración que impide la utilización del agua para un fin concreto, en este sentido es una impureza, un contaminante.

Una carga especial de las aguas, también para las plantas de tratamiento de aguas residuales siempre son los detergentes y otros productos de limpieza. Este tipo de sustancias llega en grandes cantidades a las aguas, por lo menos en el mundo "civilizado", y causan más o menos el 30 % de las cargas de las aguas residuales comunales con sustancias orgánicas y el 40 % de las cargas con sustancias inorgánicas disueltas.

El consumo medio de los detergentes en los países desarrollados es alrededor de 11 kg por año y habitante. Los detergentes comerciales son mezclas de alrededor de 10 diferentes tipos de sustancias. Los detergentes en el sentido propio de la palabra son solamente el 10 - 15 % de la mezcla. Ellos son sustancias tensoactivas que disminuyen la tensión superficial del agua y facilitan de esta manera su interacción con las superficies sólidas y también la formación de espuma. El resto son sustancias que sirven para condicionar el agua, blanqueadores, perfumes, etc.

El detergente más comúnmente conocido es el jabón. Se trata de una mezcla de las sales de sodio y potasio de ácidos carboxílicos con largos restos alifáticos saturados o insaturados no ramificados, p.ej.

Los estearatos de sodio: $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COO}^- \text{Na}^+$,

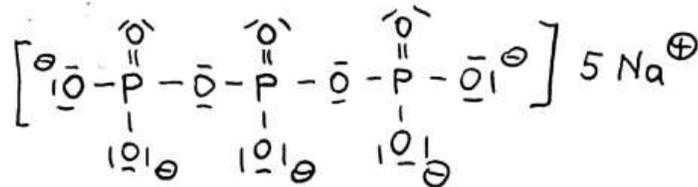
Los palmitatos de sodio: $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COO}^- \text{Na}^+$,

Los oleatos de sodio: $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COO}^- \text{Na}^+$

Los iones de calcio y de magnesio, que contiene normalmente el agua natural, causan la llamada dureza del agua y forman sales insolubles con las sustancias tensoactivas iónicas o, p. ej. en los calentadores de agua, forman incrustaciones que disminuyen la conductividad térmica de los aparatos. Para evitar o disminuir estos efectos desagradables se agrega a los detergentes sustancias que tienen la propiedad de fijar estos iones de maneras diferentes.

Lo más común era y todavía es, agregar polifosfatos que forman complejos solubles en agua con los iones de calcio y magnesio.

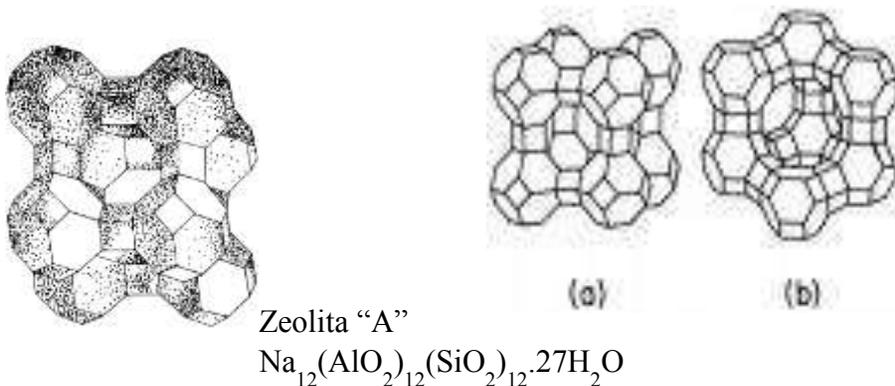
Figura 88 Trifosfato de Penta sodio



La gran desventaja de estas polifosfatos es que el fósforo es uno de los elementos nutritivos más importantes para las algas y las plantas acuáticas. Por lo tanto, las polifosfatos causan su crecimiento rápido en las aguas hasta lograr el efecto eutrófico.

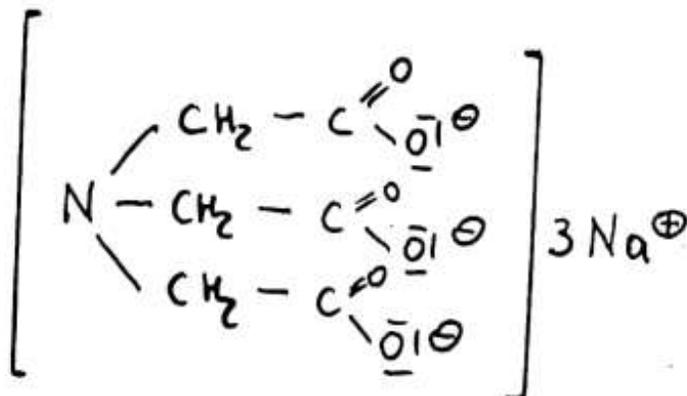
Por esto, los detergentes modernos contienen un polvo muy fino de zeolitas que son silicatos de aluminio y sodio insolubles en agua y que actúan como intercambiadores de iones y fijan los iones de calcio y magnesio en el interior de sus microcristalitos.

Figura 89 Estructura



Los nitriloacetatos son otra alternativa para fijar los iones de calcio y magnesio en forma de complejos. Se habla también de enmascarar estos iones.

Figura 90 Nitrilotriacetato de sodio



3.2 Los compuestos policlorados de tipo bifenilo, dibenzodioxina y dibenzofurano

La producción de dos tercios de todos los productos químicos es realizada utilizando productos intermedios que contienen cloro, aunque después no todos los productos finales son compuestos clorados.

Los reactivos de partida para la mayoría de las sustancias que contienen en alguna forma átomos de cloro son: el cloruro de hidrógeno (HCl) que es un gas muy agresivo y muy soluble en agua formando el, también agresivo, ácido clorhídrico $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ o el cloro elemental (Cl_2) que también es un gas y que se genera por electrólisis del cloruro de sodio.

De punto de vista del medio ambiente, la producción de los compuestos halogenados, especialmente los clorados, y su utilización son muy discutidos. Sin embargo, por causa de sus propiedades especiales, muchos de estos productos intermedios y finales se consideran productos indispensables.

El autor del importante libro "The Handbook of Environmental Chemistry", Otto Hutzinger, escribió alguna vez:

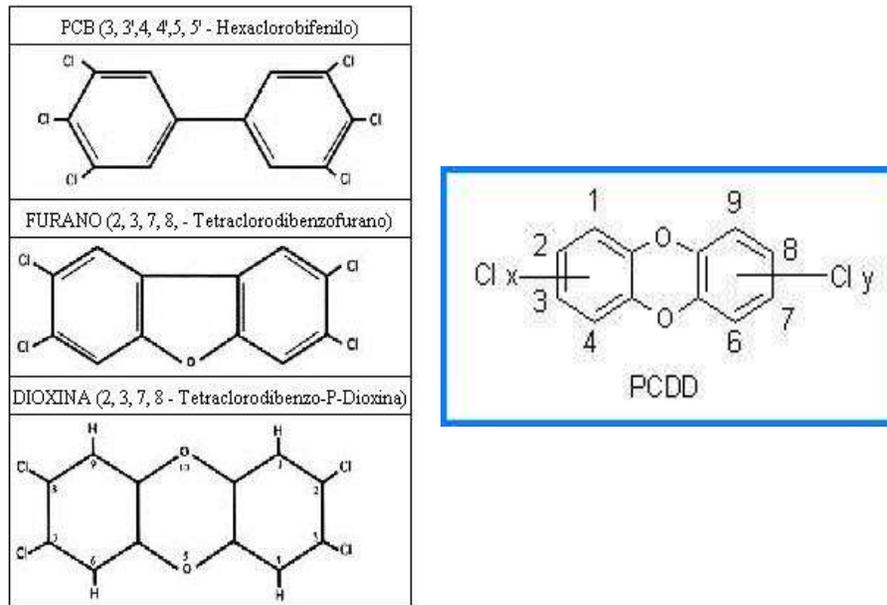
"Dios creó 91 elementos químicos, el hombre ha creado un poco más de una docena de los elementos continua el autor - sin el cloro la vida no es imaginable."

Los compuestos orgánicos clorados son sustancias lipofílicas (griego: lipos = grasa, philein = amar) que fácilmente penetran las membranas celulares. También las moléculas relativamente grandes son absorbidas rápidamente por los organismos. La biodegradación de los compuestos clorados es lenta, lo que significa que ellos son muy persistentes en los organismos. Por lo tanto, los compuestos orgánicos clorados son acumulados, sobre todo en el tejido adiposo de los organismos y a lo largo de las cadenas alimenticias. La tabla siguiente muestra algunos ejemplos de este efecto:

Tabla 39 Concentraciones medias de algunos compuestos orgánicos clorados encontrados en casos concretos [$\mu\text{g}/\text{Kg}$]

Muestra	Hexacloro benceno	γ -hexacloro ciclohexano	Diclorodifenil dicloroetano	Bifenilos policlorados
Suelo	6	0.1	0.3	6
Lombriz de tierra	0.1	1	1.6	34
Lodos de depuración	1.5	0.5	3	630
Microalgas	0.04	0.65	0.16	5
Carpas	7	2.5	60	4350
Leche de vaca	0.4	0.5	1	15
Sangre humana	3.5	2.5	3.5	33
Hígado humano	270	3.5	290	1320
Grasa humana	1500	6	1600	10220 (!)

A temperaturas altas, p. ej. en los procesos de combustión o de incendios accidentales o intencionadamente causados, los compuestos clorados pueden transformarse en productos todavía más peligrosos especialmente para los seres humanos. Se trata de las dibenzodioxinas policloradas y los dibenzofuranos policlorados que, a veces, se denominan los supervenenos de la era moderna.

Figura 91 Estructuras químicas de los compuestos químicos organoclorados

En dependencia de la cantidad y de la posición de los átomos de cloro en estas moléculas son posibles 75 diferentes dibenzodioxinas cloradas y 135 diferentes dibenzofuranos clorados. Las fuentes de importancia son: - la incineración de basuras, también en las plantas incineradoras de basuras, - los procesos metalúrgicos, - algunos procesos químicos, en los cuales estos productos se forman como productos laterales no deseados, p. ej. en la producción del pentaclorofenol (PCP) que es un agente contra la putrefacción de la madera, en la producción de los bifenilos clorados o en la producción de productos intermedios para los insecticidas y varios productos farmacéuticos.

Su formación es favorecida químicamente por la gran estabilidad de los anillos de 6 o de 5 átomos y por el efecto protector de los átomos de cloro contra los ataques oxidativos del oxígeno. Estas sustancias son estables hasta temperaturas de 600 °C - 800 °C. Por esto las plantas incineradoras de basuras necesitan un sistema de control especial.

Todo tipo de basuras que ya como tales contienen sustancias de este tipo necesitan un tratamiento especial como desechos muy peligrosos. El representante hasta ahora más peligroso de estas clases de sustancias es la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo [1,4] dioxina que es el llamado "Veneno de Seveso". Esta sustancia es considerada como la más tóxica que jamás resultó de algún proceso industrial.

Tabla 40 Factores de equivalencia de la toxicidad "TEF"

Compuesto	TEF	
2,3,7,8-TCDD	1	T=tetra
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	Pe =penta
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	Hx =hexa
1,2,3,4,6,7,8-HpXCDD	0.01	Hp=hepta X= halogeno
OCDD	0.001	O =octa DD=difenildioxina
2,3,7,8-TCDF	0.1	DF =difenilo
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	
OCDF	0.001	

Toxicidad Crítica de algunos venenos

Veneno	Masa molar [g/mol]	Dosis mortal [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
Botulinus toxina A (bacteriana)	900,000	0.00003
Tetanus toxina (bacteriana)	150,000	0.0001
Toxina de difteria (bacteriana)	72,000	0.3
2,3,7,8-TCDD	320	1
Aflatoxina B ₁ (hongo)	312	10
Curarina (vegetal)	696	500
Estricnina (vegetal)	334	500
Nicotina (vegetal)	162	1,000
Cianuro de Sodio	49	10,000

Otra clase de sustancias policloradas son los bifenilos policlorados. Por sus propiedades extraordinarias se utilizan como líquido en las instalaciones hidráulicas, como aislantes en los condensadores y transformadores de alta tensión, como impermeabilizantes para madera y papel, como plastificantes de polímeros, etc. Por causa de su resistencia (bio)química, estas sustancias muestran una bio- y geo acumulación muy alta y ya forman parte de los contaminantes ubicuos. En los organismos humanos ellos causan enfermedades del hígado, de los riñones y del bazo. A causa de la semejanza de sus propiedades físicas con las de los aceites técnicos existe un gran peligro en mezclarlas incontrolablemente con ellos, especialmente en los procesos de desguace.

Hasta ahora mundialmente se produjeron alrededor de 1 millón de toneladas de estos productos. En algunos países su producción ya está cancelada, pero, a causa de sus resistencias, el problema seguirá existiendo todavía muchísimos años.

3.3 Los aceites

Otro representante de los contaminantes importantes de las aguas (y de los suelos) es el aceite mineral. Sólo en el año de 1992 llegaron al medio ambiente aproximadamente 200, 000 m³ por causas diferentes. Por un lado, el aceite mineral forma una capa sobre la superficie de las aguas que impide el intercambio normal de los gases, lo que hace daños indirectos a la vida acuática, y por otro lado contiene contaminantes tóxicos solubles en agua que causan daños directos.

Existen varias bacterias que pueden degradar bioquímicamente el aceite mineral. Sin embargo, este proceso es muy lento y por esto la contaminación se queda por largo tiempo. A causa de la formación de una capa muy delgada, los aceites pueden contaminar una gran cantidad de agua, especialmente cuando se trata de aguas freáticas u otras fuentes para el agua potable.

Un solo litro de aceite mineral de baja viscosidad puede hacer inutilizable 10 millones de litros de agua para generar agua potable (!). Un gran peligro en este sentido causa los aceites de desecho porque ellos además contienen una gran variedad de sustancias peligrosas y tóxicas, como p. ej. los compuestos halogenados.

4 El agua potable y el tratamiento de las aguas residuales

4.1 El agua potable

Dos tercios del cuerpo humano consisten en agua, alrededor del 80 % de una célula es nada más que agua y algunas verduras y frutas consisten hasta más del 90 % de agua. Los seres humanos, bajo condiciones normales, necesitan cada día más o menos 35 g de agua por kg de su peso corporal, lo que corresponde a 2.5 L/día o entre 50,000 L y 60,000 L durante toda la vida. Podemos vivir unas semanas sin comer, pero sólo 50 6 días sin tomar agua.

El agua químicamente pura (agua destilada y/o desionizada) no es apropiada como bebida. Esta agua causa daños a la salud. El agua potable tiene que contener cierta concentración de minerales en forma de iones. Esto se debe al fenómeno de la presión osmótica de las células.

El consumo de agua ha crecido durante el tiempo y no incluye solamente las necesidades fundamentalmente vitales. Durante la época preindustrial, los seres humanos consumían diariamente entre 10 L y 20 L por persona. Hoy día, en un país europeo desarrollado, el consumo privado alcanza valores alrededor de 150 L/día y persona. Únicamente el 5 % de esta cantidad se necesita para beber y cocinar. El resto se gasta para bañarse (35 %), los WC (25 %), lavar ropa (25 %) y fregar los platos (10 %). Si se agrega a estas cantidades el consumo de agua en las instalaciones públicas (hospitales, escuelas, etc.) resulta un consumo de más o menos 325 L per cápita y día y, por consiguiente, la demanda correspondiente para la preparación y el abastecimiento de agua en buena calidad.

La mayor parte de esta agua regresa a la naturaleza en forma de las aguas residuales, lo que cambia (más o menos drásticamente) la calidad de los ríos, lagos y las aguas freáticas.

Para calcular el equilibrio entre las necesidades y las reservas de una región, un país, etc., hay que tener en cuenta: - la cantidad de las precipitaciones, - la cantidad del agua que se evapora (en dependencia de las condiciones climáticas), - el flujo de los ríos hacia el mar, - la cantidad que rezuma el suelo para rellenar las reservas de las aguas freáticas que son la fuente más importante para el agua potable, - las necesidades / el consumo de agua por parte de la industria (esta agua, por lo general, no exige la calidad de agua potable. Sin embargo, las aguas negras de la industria, si entran a las aguas naturales sin pretratamiento suficiente, por la contaminación que causan, pueden disminuir considerablemente las reservas de agua para otro tipo de aprovechamiento o, por lo menos, aumentar mucho los costos para otros consumidores públicos y privados).

El agua potable tiene que cumplir ciertas características:

- No debe contener ningunos agentes patógenos,
- No debe contener otros microorganismos en grandes cantidades,
- No debe contener impurezas que influyan negativamente sobre la salud,
- Tiene que ser incolora, sin olor y tener un sabor agradable,
- No debe contener grandes concentraciones de sustancias disueltas.

En muchos países existen reglamentos o hasta leyes que obligan a cumplir la calidad del agua potable y que fijan los límites permitidos de las concentraciones de las diferentes impurezas no deseadas o deseadas.

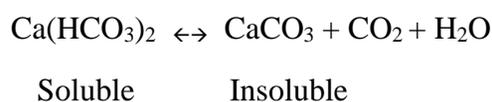
Las fuentes más importantes para el agua potable son las aguas freáticas, las manantiales y, donde no hay estos recursos en cantidades suficientes, los pozos artificiales en las orillas de lagos y ríos generados por la filtración de estas aguas superficiales o por dejar pasar el agua superficial por el suelo en una región más lejana pero geológicamente adecuada para filtrar el agua.

Un parámetro importante de la calidad del agua es su dureza. Se diferencia entre la dureza total y la dureza temporal.

La dureza total del agua es la suma de las concentraciones de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} y Ba^{2+} disueltos. Como la mayoría de las aguas no contiene ni Sr^{2+} ni Ba^{2+} , frecuentemente se define la dureza total como la suma de los iones de calcio y magnesio. Entre el 70 % y el 85 % de la dureza total del agua es causada por los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} .

La dureza temporal o la dureza de carbonato es la parte de la dureza total que puede quitarse simplemente por calentar el agua. Ella es exactamente la que causa las incrustaciones interiores de los recipientes, calentadores y otros aparatos que contienen agua caliente.

La causa de la dureza temporal del agua es un equilibrio químico entre el hidrogenocarbonato de calcio, que es una sal soluble en agua, y el carbonato de calcio que es una sal insoluble en agua:



Aumentar la temperatura del agua que contiene disuelto el hidrogenocarbonato de calcio significa trasladar el equilibrio hacia el lado derecho porque a temperaturas elevadas disminuye la solubilidad del CO_2 , el cual sale de la disolución hacia la atmósfera, y el hidrogenocarbonato de calcio se transforma en el carbonato de calcio que forma precipitaciones o incrustaciones. De esta manera se disminuye la concentración de los iones de calcio en el agua y con esto su dureza.

El resto de la dureza del agua es causado por otras sales de calcio y magnesio (en primer lugar, los cloruros y sulfatos) y de estroncio y bario que no forman ningún equilibrio semejante.

La dureza de las aguas depende de las condiciones geológicas. Donde hay mucha caliza, la dureza del agua es alta.

Para el ablandamiento del agua pueden utilizarse intercambiadores de iones, ciertos tipos de polifosfatos que forman precipitaciones insolubles que se separan por filtración o se usa un método que se llama Ósmosis inversa.

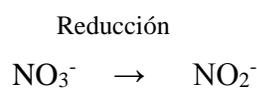
En algunos países es necesario utilizar el agua de mar para generar el agua potable, el agua para el riego o el agua para la industria. En estos casos se desala el agua o por destilación, lo que es económico sólo cuando se dispone de fuentes energéticas baratas, o usando membranas que no permiten el paso de los iones de las sales.

Con la contaminación creciente aumentan mucho los gastos para la preparación del agua potable.

Algunos contaminantes pueden eliminarse por precipitación con cal y por el método de floculación (con el sulfato de aluminio). Los filtros de gravilla, arena y carbón activado y una buena aireación del agua sirven para eliminar las sustancias que influyen negativamente sobre el olor y el sabor del agua.

Un problema grave es la disminución de los nitratos porque estas sales del ácido nítrico son muy solubles en agua.

Además de influir sobre el sabor, los nitratos pueden ser peligrosos para los seres humanos. El metabolismo humano reduce el nitrato al nitrito.



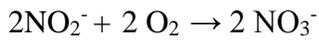
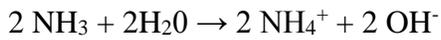
El nitrito, por un lado, oxida la hemoglobina y disminuye así el transporte de oxígeno. Este efecto es todavía más peligroso para el metabolismo de los niños y en casos extremos, para los bebés, resulta la enfermedad "cianosis" que muchas veces es mortal. Por otro lado, el nitrito formado puede ser transformado en las llamadas nitrosaminas.

$\text{R}_2\text{N-NO}$, que son conocidos como sustancias cancerígenas.

En la Unión Europea, para el agua potable, existe el límite de 25 mg de nitrato / m^3 de agua.

Una de las fuentes más importantes es la agricultura, porque los fertilizantes químicos y naturales (estiércol y todo tipo de excrementos animales) contienen nitrógeno ya sea en forma de nitrato o en forma de compuestos de nitrógeno químicamente reducido, como el amoníaco NH_3 , las aminas R-NH_2 , la urea $\text{CO(NH}_2)_2$, otras amidas R-C(CO)NH_2 y los aminoácidos $\text{R-CH(NH}_2\text{)COOH}$.

También todo tipo de biomasa muerta, por su contenido en proteínas formadas de los aminoácidos, causa el aumento de los compuestos de nitrógeno en el suelo y en el agua. Existen varios tipos de bacterias que pueden transformar los compuestos orgánicos de nitrógeno en amoníaco (= amonificación) y otros que transforman el amoníaco a nitrito, nitrato y óxido de dinitrógeno (N_2O) (= nitrificación).



Las emisiones de los NO_x, causadas por el tráfico, contribuyen también en el aumento de la concentración de los nitratos.

El contenido de los nitratos en el suelo disminuye por tres caminos:

- La asimilación de las plantas.
- La desnitrificación por ciertas bacterias.
- Su disolución en las aguas.

La eliminación de los compuestos inorgánicos de nitrógeno en el agua es algo difícil. Sin embargo, muchas veces no hay fuentes alternativas para la preparación del agua potable. Se utiliza un método que también es un método microbiológico, aprovechando las bacterias facultativamente anaeróbicas.

En una primera etapa, bajo exclusión de oxígeno, los nitratos se dejan transformar microbiológicamente, en un proceso reductivo y anaeróbico, a nitrógeno elemental (N₂) y, en parte menor, a óxido de dinitrógeno (N₂O).

En una segunda etapa, en presencia de oxígeno, también microbiológicamente en un proceso aeróbico, se oxidan los compuestos de nitrógeno reducido, en primer lugar, el amoníaco (NH₃) o los iones de amonio (NH₄⁺), transformándolos en nitrato. Después, si es necesario, se repite la primera etapa para reducir de esta manera gradualmente el contenido de los compuestos de nitrógeno.

Al final hay que desinfectar el agua. Para este fin existen también varios métodos.

El método más empleado es la cloración con compuestos de cloro que actúan como oxidantes.

El más utilizado es el cloro elemental que ya propiamente es un oxidante fuerte y que, dentro del agua, se transforma lentamente en el hipoclorito (OCl⁻) que es otro oxidante todavía más fuerte:



Un problema de este proceso consiste en el manejo de cloro porque es un gas muy tóxico. Otro oxidante, menos fuerte, que se utiliza, es la cloramina (ClNH₂). El tercer compuesto de cloro, utilizado para la desinfección del agua potable, es el dióxido de cloro (ClO₂), también un gas tóxico.

La ventaja de la cloración consiste en el efecto de depósito que impide el desarrollo de nuevas poblaciones de microorganismos en el agua una vez desinfectada. La desventaja de la cloración, especialmente cuando el agua todavía o de nuevo contiene compuestos orgánicos como contaminantes y cuando se utiliza los agentes de cloración en exceso, consiste en la formación de varios compuestos orgánicos clorados nocivos.

Por ejemplo, es comprobado que la gente que trabaja en los balnearios techados, por causa de la elevada concentración de los compuestos orgánicos clorados, sufre más frecuentemente ciertos tipos de cáncer que el promedio de la población.

Otro método de desinfección del agua es utilizar el ozono como oxidante.

La ventaja es que el ozono también inactiva los virus. Sin embargo, existen también desventajas. Para garantizar una desinfección total se necesitan grandes concentraciones de ozono y al final hay que eliminar el exceso de ozono. Otra desventaja consiste en la formación de compuestos tóxicos a partir de los compuestos de nitrógeno. Además, es necesaria una cloración consecutiva, aunque en concentraciones bajas, para evitar el nuevo crecimiento de los microorganismos en la red de tubería. Una concentración de cloro entre 0.1 y 0.2 mg/L agua es suficiente para garantizar este efecto de depósito, si se trata de una red cerrada (sin cisternas etc.).

Un tercer método consiste en el aprovechamiento de la luz ultravioleta como desinfectante, especialmente luz intensa y de una longitud de onda de 254 nm.

La gran ventaja de este método es que los reactores de flujo (ya existen tales reactores en tamaño industrial) con un arreglo de lámparas de luz UV en su interior, son fácilmente integrables en cualquier tipo de instalaciones de una red de tubería de agua ya existentes y que no es necesario agregar al agua otro oxidante / desinfectante, si el reactor se encuentra cerca del punto de uso del agua. Si esto no es posible, también es necesaria una cloración de baja concentración para garantizar el efecto de depósito y evitar el crecimiento nuevo de poblaciones de los microorganismos.

4.2 Las aguas residuales

Las aguas residuales son todo tipo de agua transformada en sus propiedades naturales y cargada con sustancias solubles e insolubles (normalmente esto es causado por alguna utilización del agua). En este sentido también el agua de las lluvias que entra a las canalizaciones de las calles forma parte de las aguas residuales.

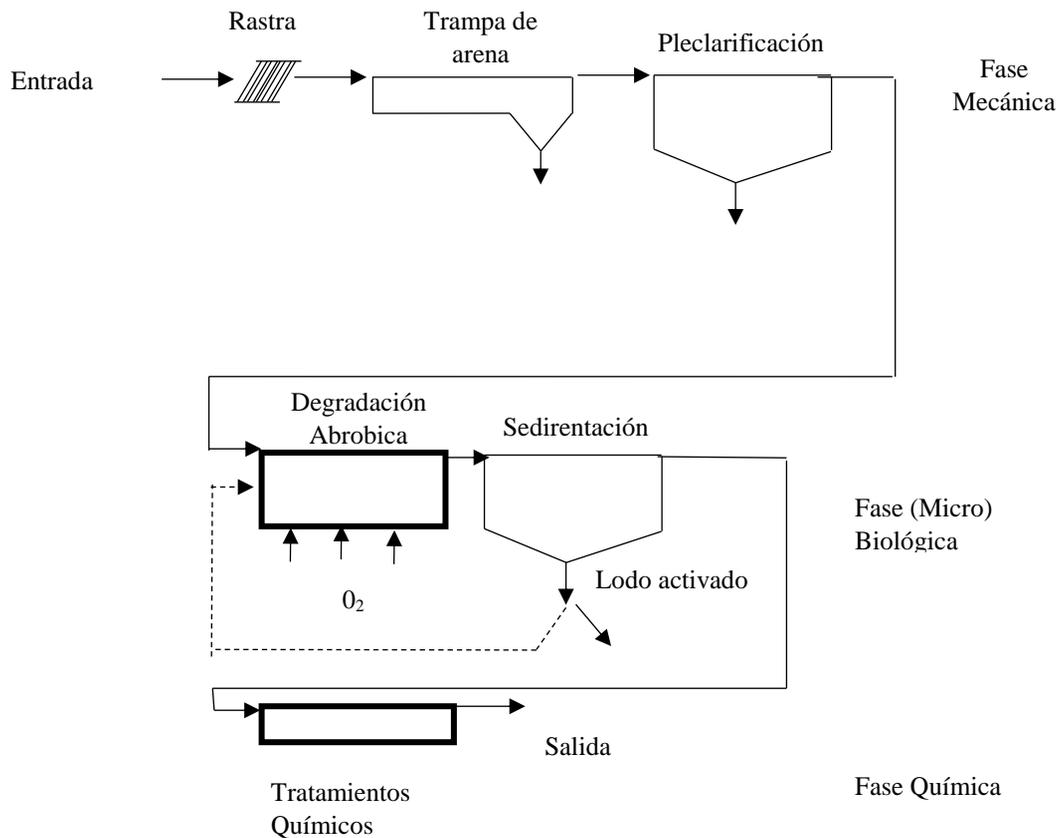
Las cargas de las aguas residuales pueden ser sustancias inorgánicas u orgánicas, sustancias solubles o insolubles. Las últimas pueden ser sustancias depositables o partículas en suspensión. Las sustancias solubles forman más o menos dos tercios de la carga total de las aguas residuales.

Además de las cargas por sustancias, también el aumento de la temperatura como resultado del uso industrial (agua de enfriamiento) puede considerarse como una carga porque esto afecta también a la calidad del agua como medio vital.

Es conveniente diferenciar entre las aguas residuales comunales e industriales. En cuanto a la industria hay que diferenciar entre las empresas que dejan entrar sus aguas residuales, sin o con tratamiento previo, directamente a los ríos o lagos y las empresas que lo hacen indirectamente por medio de la canalización hacia una planta de tratamiento comunal.

En los canales de las aguas residuales frecuentemente falta el oxígeno necesario para los procesos de degradación aeróbica. Por esto tienen lugar los procesos microbiológicos anaeróbicos que causan la mayor parte de los olores malos. Por ejemplo, hay bacterias que aprovechan los sulfatos para generar el oxígeno necesario para la biodegradación de los contaminantes, transformando los sulfatos en el sulfuro de hidrógeno (H_2S) que además de su mal olor es un gas tóxico.

Una planta de tratamiento de agua residuales consiste en un conjunto de varias etapas para reducir la cantidad de las cargas del agua causadas por todo tipo de sustancias disueltas o flotantes. Convencionalmente se trata de tres fases del tratamiento.

Figura 92 Esquema de una planta de tratamiento de agua

En la fase mecánica se elimina todo el material flotante de tamaño grande con una rastra y después se deja pasar el agua por una trampa de arena, para eliminar las partículas minerales, y por un tanque de preclarificación (o tanque de decantación) para dejar sedimentarse los sólidos orgánicos.

En la fase (micro) biológica se suministra al agua el oxígeno necesario para el proceso aeróbico de la transformación microbiológica de los contaminantes disueltos y suspendidos. Para tal fin o se utilizan tanques grandes con agitación y/o inyección de aire o se deja gotear el agua sobre algún material sólido que es el soporte para los microorganismos dentro de un reactor de lecho estacionario.

La gama de temperatura para este proceso es de 5°C - 33°C y el producto es el llamado lodo activado que consiste en su mayor parte de varios organismos mono- y multicelulares, como bacterias, hongos, etc. Después, en un tanque de sedimentación, se deja sedimentar este lodo activado. La mayor parte del lodo activado se recicla hacia el tanque de agitación. La parte excedente se elimina del sistema. Al fin de esta etapa, en una planta eficaz, el proceso de purificación logra el 90 % de la disminución de sólidos y sustancias degradables, medido por el valor DBO_5 .

Lo que no disminuye tanto, son los compuestos (inorgánicos) de nitrógeno (por el 50 %) y fósforo (por el 30 %). La fase química del tratamiento de agua depende mucho tanto del tipo de los contaminantes como de la utilización de las aguas después de su tratamiento. En la práctica se utilizan varios métodos, como p. ej. - la oxidación con peróxido de hidrógeno. - la adsorción de contaminantes en carbón activado, - la floculación con sulfato de aluminio y la sedimentación consecutiva.

En esta fase también es posible reducir el contenido de los fosfatos por la precipitación con el sulfato de aluminio, sales de hierro o cal. Este método, si es necesario, también se utiliza para la disminución de los fosfatos en el agua potable.

Disminuir el contenido de los nitratos es difícil y normalmente no se hace en el tratamiento de las aguas residuales.

4.3 El tratamiento de los lodos

Los lodos de una planta de tratamiento de agua todavía contienen mucha agua. El contenido de sustancia seca corresponde al 0.1 % hasta el 1 %. En tanques especiales de decantación es posible aumentar su concentración al 5 %. Las tablas siguientes muestran como ejemplo la composición media de estas sustancias secas en los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales comunales en Alemania.

Tabla 41 Contenido medio de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales comunales

Componente	% sustancia seca	Componente	[mg/kg] sustancia seca
Ca	25.9	Zn	1400
C (orgánico)	23.5	Cu	420
Al	10.4	Mn	350
Si	8.2	Pb	250
Fe	5.3	Cr	30
S	3.5	Ni	40
P	3.3	Sn	12
N	2.2	Cd	8
Mg	2.1	Hg	4
K	0.7	Sb	3
Ti	0.6	F	2
Na	0.4		
Cl	0.2		

Para disminuir el volumen de los lodos hay que eliminar todavía más agua por varios procedimientos.

Al final, en dependencia del origen de las aguas residuales tratadas se puede utilizar el lodo concentrado en la agricultura o silvicultura para mejorar los suelos o, si el lodo contiene muchas sustancias peligrosas, se quema o se deposita en vertederos.

Un método elegante para reducir el volumen de los lodos consiste en la producción microbiológica de gas de clarificación en un proceso anaeróbico. De esta manera es posible generar de 1 L de lodo crudo 20 L de gas y se quedan 0.25 L de lodo restante. El valor calorífico de 1 m³ de este gas corresponde al valor calorífico de 1 L de aceite combustible.

Para el uso de los lodos en la agricultura es necesario y muy importante garantizar ciertas condiciones en cuanto a su contenido en metales pesados, compuestos halogenados u otras sustancias peligrosas. Además, hay que evitar cierto exceso de estos lodos en un cultivo. Por ejemplo, en Alemania no deben usarse más de 5 t de sustancia seca por hectárea en un lapso de 3 años.

Los lodos de las aguas negras de los centros industriales no pueden utilizarse de esta manera. Tampoco es recomendable utilizar las aguas residuales mezcladas con las aguas negras de la industria, sin conocer el contenido verdadero de las sustancias peligrosas (metales pesados, compuestos halogenados, etc.), para el riego de todo tipo de cultivos (¡bioacumulación!).

Referencias

- 1) W. Stumm y J.J. Morgan, *Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. Ed.: John Wiley & Sons, New York, 1981 (780 p.)
- 2) D. Ellis, *Environments at Risk: Case Histories of Impact Assessment*, Ed.: Springer, Berlin, 1989 (329 p.)

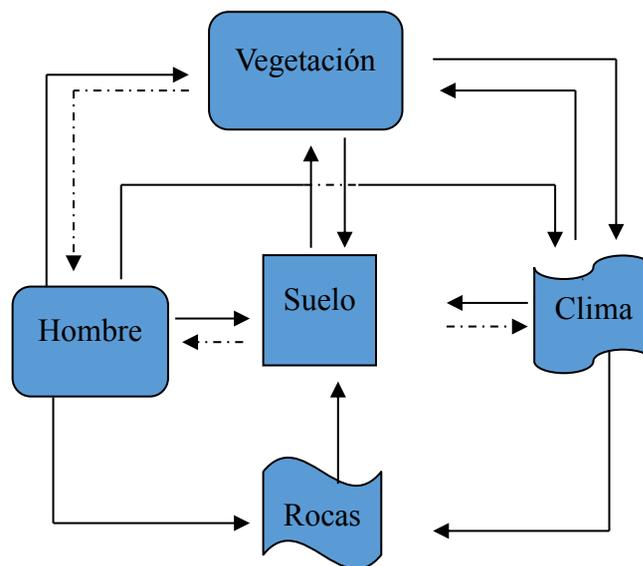
Capítulo IV. El Suelo

1 Introducción

La capa superior de la litosfera es el suelo o la pedosfera (griego: pedon = suelo). Su espesor puede variar entre pocos centímetros y unos metros y representa la capa intermedia entre la atmósfera y las rocas. Por lo tanto, en el suelo existe cierta superposición de las influencias de las tres fases: roca, agua, aire.

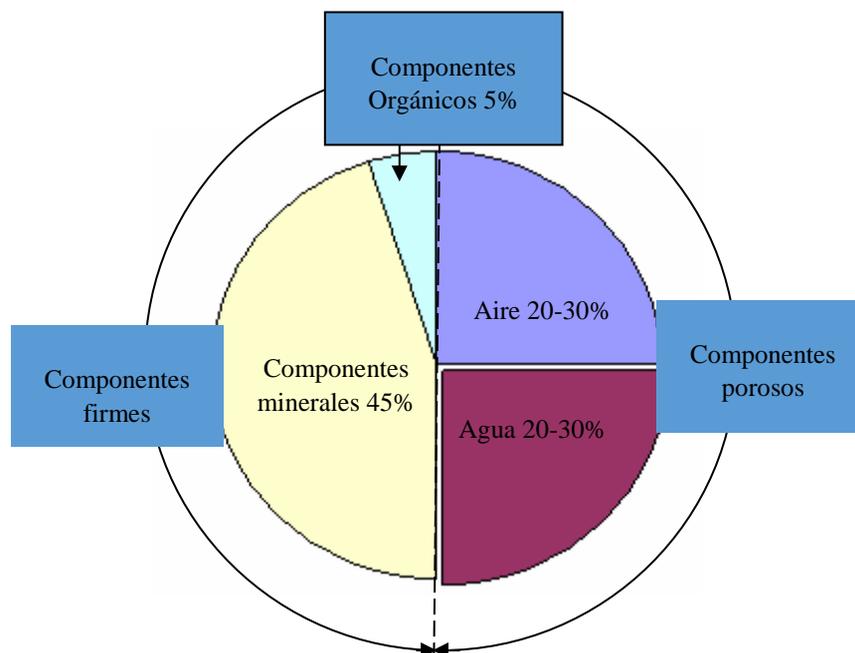
Los suelos son sistemas complejos con propiedades físicas y químicas no uniformes, en los cuales los factores: clima, agua, otras sustancias, varios organismos que viven en suelo y las plantas interactúan en procesos dinámicos, estableciendo de tal manera un conjunto de equilibrios, frecuentemente también muy sensibles.

Figura 93 Diagrama del sistema complejo del suelo.



Los suelos son el producto de la transformación de sustancias de origen mineral y orgánico en dependencia de la capa vegetal y al revés, las plantas dependen del suelo y sus características. Donde no hay plantas, no hay suelos verdaderos. La degradación y la transformación de las sustancias orgánicas (biomasa muerta) hacia las sustancias húmicas, causadas o por reacciones químicas o por el metabolismo de los organismos que viven en suelo (sobre todo los microorganismos), son el fundamento de la formación del suelo.

Figura 94 Esquema de las relaciones típicas de un suelo de prados y pastizales

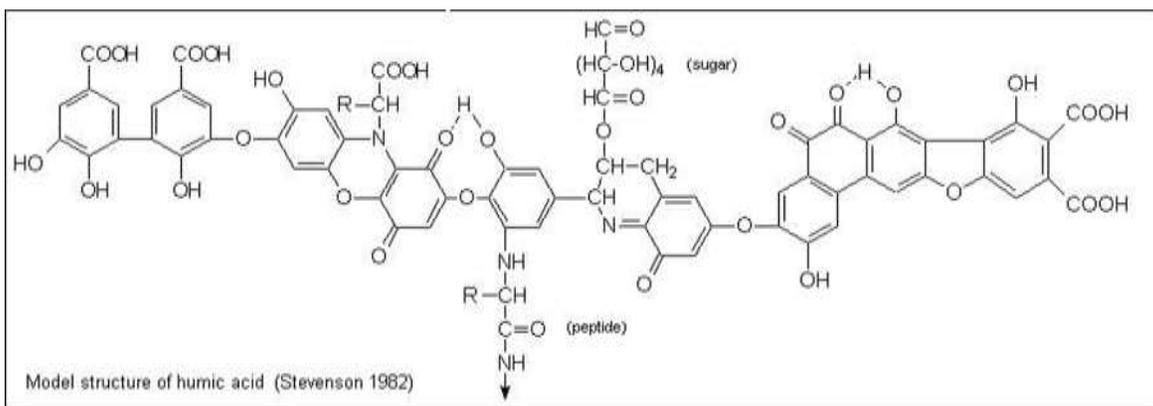


La mayor parte de los compuestos minerales son los silicatos, aluminosilicatos y algunos nutrientes inorgánicos. Los compuestos orgánicos, en primer lugar, son las sustancias húmicas.

Una propiedad importante del suelo es su estructura porque ésta influye predominantemente sobre la economía de agua, aire, calor y nutrientes en el suelo. Los poros del suelo contienen el agua, el aire, los organismos y las raíces de las plantas. La suministración de agua y aire depende tanto del clima como de la estructura del suelo. El contenido de aire influye sobre los microorganismos, sobre la respiración de las raíces de las plantas y sobre los hongos que viven en la superficie de las raíces.

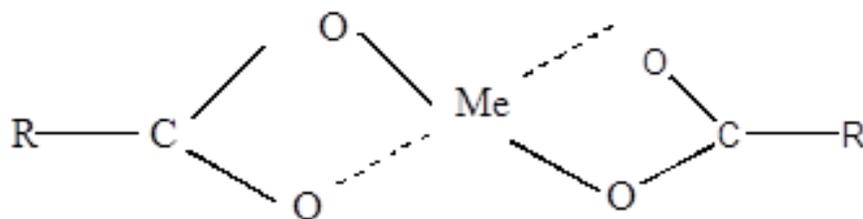
Por lo tanto, en las capas superficiales existen condiciones aeróbicas y en las más profundas hay condiciones anaeróbicas. Además, con la profundidad crece la concentración de los nutrientes minerales y decrece la concentración de los nutrientes orgánicos. Una componente importante del suelo es el humus. A veces se habla también del material postmortal. Su origen es la biomasa muerta transformada por los organismos que viven en el suelo (humificación).

Figura 95 El ácido húmico como el componente importante del suelo



Las sustancias húmicas son macromoléculas con un peso molecular entre 2,000 y 500,000 g/mol, de color café / negro y de una estructura reticular con varios grupos polares, como los grupos carboxílicos -COOH, los grupos -OH y los grupos amina -NRH. Estos grupos, por su habilidad de formar fácilmente puentes de hidrógeno, son hidrófilos y sirven para fijar el agua. Además, estos grupos pueden interactuar con los cationes metálicos, formando los llamados complejos quelato, que son importantes para fijar los nutrientes minerales.

Figura 96 Formación de quelatos con las sustancias húmicas



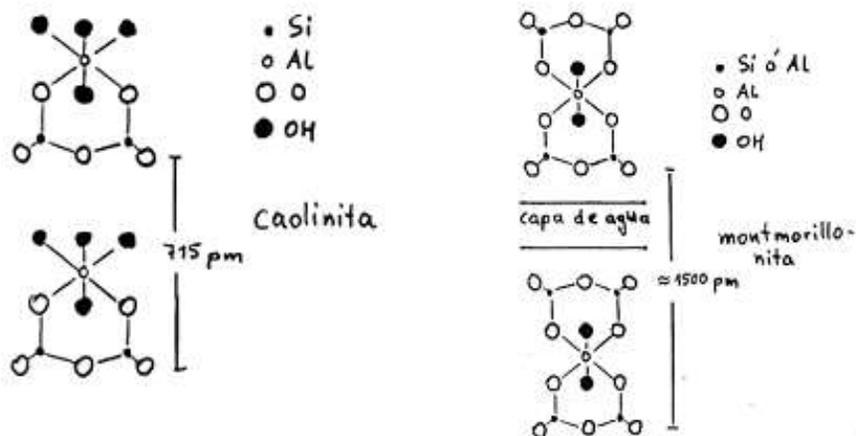
En los continentes, el 8 % del carbono orgánico es fijado en las sustancias húmicas. En los suelos, el contenido de las sustancias húmicas varía mucho:

- Suelos de cultivos 1 % -2%
- Suelos de tierra negra 2 % - 7 %
- Suelos de los prados ~ 10 %
- Suelos pantanosos 10% - 20%

Como las sustancias húmicas están involucradas en los procesos del metabolismo de los organismos del suelo y de la degradación abiótica, ni su estructura ni su concentración son uniformes y constantes. Su degradación causa la necesidad de suministrar constantemente las sustancias húmicas a los suelos usados para la agricultura.

Otra componente importante de los suelos son los minerales arcillosos que consisten de aluminosilicatos con una estructura en capas.

Figura 97 Estructuras de las arcillas



Estos aluminosilicatos con sus grupos -OH tienen también la propiedad de fijar las moléculas del agua y pueden actuar como intercambiadores de iones y fijar y acumular los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ que son nutrientes importantes para las plantas.

Las partículas de los minerales arcillosos y del humus interactúan fuertemente en el suelo y determinan su calidad.

Los organismos que viven en el suelo tienen gran importancia no solamente para la biodegradación de la biomasa muerta, sino también para mullir el suelo y acondicionarlo para su interacción con el aire y el agua.

Tabla 42 Cantidad de organismos vivos en los 30 cm superiores de 1m² de suelo húmedo

Organismo	Cantidad
Bacterias	60,000,000,000,000
Hongos	1,000,000,000
Otros org. Monocelulares	500,000,000
Nematodos	10,000,000
Algas	1,000,000
Ácaros	150,000
Varias especies de lombrices	25,000
Otros	≈100,000

De importancia, especialmente para las plantas, son los hongos que viven en la superficie de las raíces en simbiosis con las plantas. Estos hongos transforman ciertos nutrientes, difícilmente solubles, en sustancias solubles y así accesibles para las plantas y aumentan a la vez la capacidad de las raíces de atraer el agua hacia la planta, aumentando la superficie activa de las raíces por un factor de 100 hasta 1000. Estos hongos son muy sensibles a diversos contaminantes y cambios del pH del suelo.

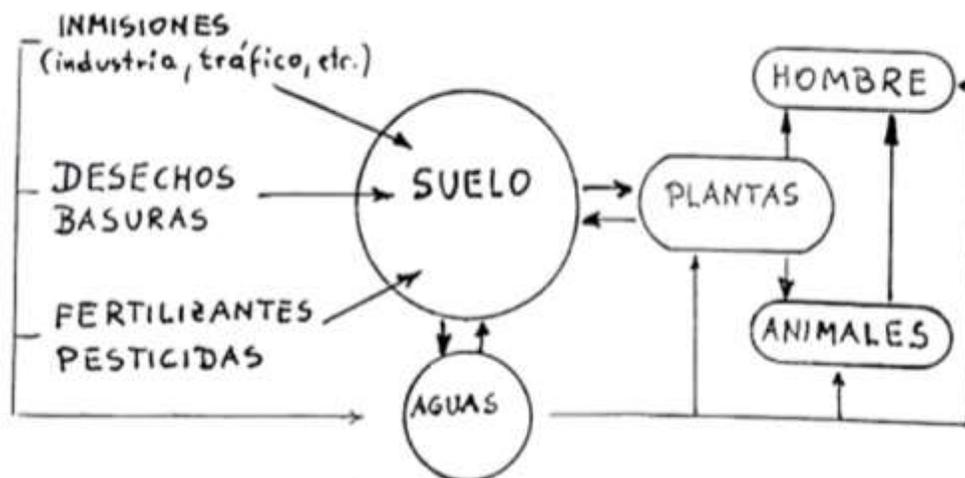
Aunque la capa de suelo es muy delgada, en comparación con las dimensiones de nuestro planeta, el suelo es el fundamento y el espacio vital para los seres humanos, para muchos animales, plantas y microorganismos. Por lo tanto, la protección del suelo es de importancia altísima. Las funciones del suelo son varias.

Figura 98 Nutrientes en el suelo



El suelo es la residencia ecológica de las plantas, la base de la vegetación silvestre y de los cultivos; - es el depósito de nutrientes para las plantas, tanto de los orgánicos como de los inorgánicos, sobre todo de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- y PO_4^{3-} ; - es el regulador de la economía de agua (rezumar, evaporar, salirse superficialmente) y actúa como filtro para llenar las reservas de las aguas freáticas; - es la ubicación de las áreas habitacionales, recreativas, industriales y las arterias de tráfico y así, en dependencia de su aprovechamiento, determina el aspecto de los paisajes y la naturaleza. De esta manera, el suelo influye también sobre aspectos sociales y estéticos, sobre el bienestar de los seres humanos; - actúa como acumulador, tampón y medio de transformación de los contaminantes.

Figura 99 Migración de los contaminantes.



El hecho de que en los centros de urbanización el suelo esté sellado y exactamente en los mismos centros se formen la mayoría de los contaminantes, influye mucho sobre la salud de la naturaleza y de la gente que vive allí.

Tres tipos de contaminantes son de importancia extraordinaria para el suelo:

- Los contaminantes ácidos o los que se transforman fácilmente en ácidos (SO_2 , NO_x).

Ellos reducen la capacidad tampón del suelo y causan la formación de suelos ácidos. - Los metales pesados que se acumulan en el suelo y, a partir de ciertas concentraciones, entran a las cadenas alimenticias y las aguas freáticas. - Los compuestos químico-orgánicos, sobre todo los halogenados, que también entran al ciclo biológico.

Estos tres tipos de contaminantes influyen fuerte y directamente sobre los (micro)organismos en el suelo y así sobre su función como base vegetal.

La capa del suelo crece entre 0.1 y 0.5 mm por año por los procesos de la descomposición de las rocas y piedras por influencias físicas, químicas y biógenas. En las regiones frías y secas, los procesos físicos tienen mayor importancia, en las regiones cálidas y húmedas, los procesos químicos tienen más influencia (la velocidad de una reacción química se duplica con el aumento de la temperatura en 10°C). Por otro lado, la capa del suelo disminuye por los procesos de erosión, causados por el agua superficial y el viento.

Estos procesos tienen lugar en todas las regiones donde falta la capa de vegetación cerrada. El efecto de erosión es típico para las áreas de deforestación, sobre todo en las faldas de las montañas, y para la agricultura moderna con sus monocultivos en áreas grandes. Por ejemplo, en algunos monocultivos grandes de maíz pueden observarse pérdidas del suelo, causadas por la erosión, en cantidades mayores de 50 t por hectárea y año. Esto corresponde a una disminución de la capa de suelo de 8 mm anualmente, lo que es la cantidad del suelo que puede formarse en un lapso de 50 hasta 80 años.

2 Los fertilizantes

Las plantas necesitan nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos.

Figura 100 Nutrientes y elementos traza, importante para las plantas.

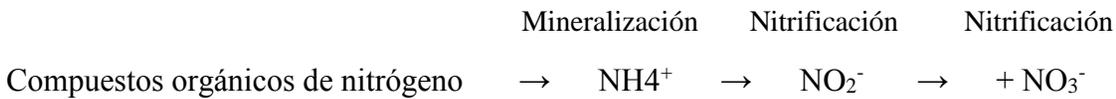
nutrientes	elemento	concentración media en el suelo ^{*)} [g/kg]	reserva en el suelo ^{**)} [t/ha]	formas de asimilación
nutrientes principales orgánicos	H			H ₂ O
	C			CO ₂ , HCO ₃ ⁻
	O			O ₂ , CO ₂
nutrientes principales inorgánicos (minerales)	N	1	3	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ (NH ₃ , NO _x , N ₂)
	P	0.7	2.1	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
	S	0.7	2.1	SO ₄ ²⁻ (SO ₂)
	K	14	42	K ⁺
	Mg	14	42	Mg ²⁺ , complejos de Mg
	Ca	5	15	Ca ²⁺ , complejos de Ca
nutrientes traza inorgánicos (minerales)	B			H ₂ BO ₃ ⁻ , [B(OH) ₄] ⁻ , H ₃ BO ₃
	Cl			Cl ⁻ (HCl)
	Mn			Mn ²⁺ , complejos de Mn
	Fe			Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , complejos de Fe
	Cu			Cu ²⁺ , complejos de Cu
	Zn			Zn ²⁺ , complejos de Zn
	Mo			MoO ₄ ²⁻

*) en la sustancia seca
**) en una capa de 20 cm

Existen plantas que necesitan algunos elementos más, como p.ej. Na, Cl, Co, Si. Sólo entre el 0.1 % y el 5 % del contenido de nutrientes en el suelo es accesible para las plantas. Si falta uno de los 16 elementos esenciales, entonces las plantas muestran ciertos síntomas carenciales.

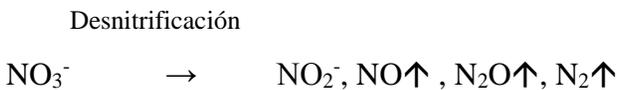
Mientras que en los suelos los elementos Ca, S y Fe normalmente tienen concentraciones suficientes, faltan frecuentemente los elementos N, K, P y a veces el Mg, sobre todo en los suelos utilizados para la agricultura. Por esto es necesario agregar estos elementos al suelo en forma de fertilizantes, tanto naturales como químicos.

El nitrógeno ocupa una posición especial entre las sustancias minerales. La reserva de nitrógeno en la atmósfera prácticamente es infinita. Sin embargo, hay pocas plantas que pueden utilizar directamente el nitrógeno elemental. Casi todas las plantas asimilan el nitrógeno por sus raíces en forma de compuestos inorgánicos, sobre todo como nitrato (NO_3^-), aunque este nitrógeno tiene su origen en los compuestos orgánicos como p. ej. los aminoácidos y la urea.



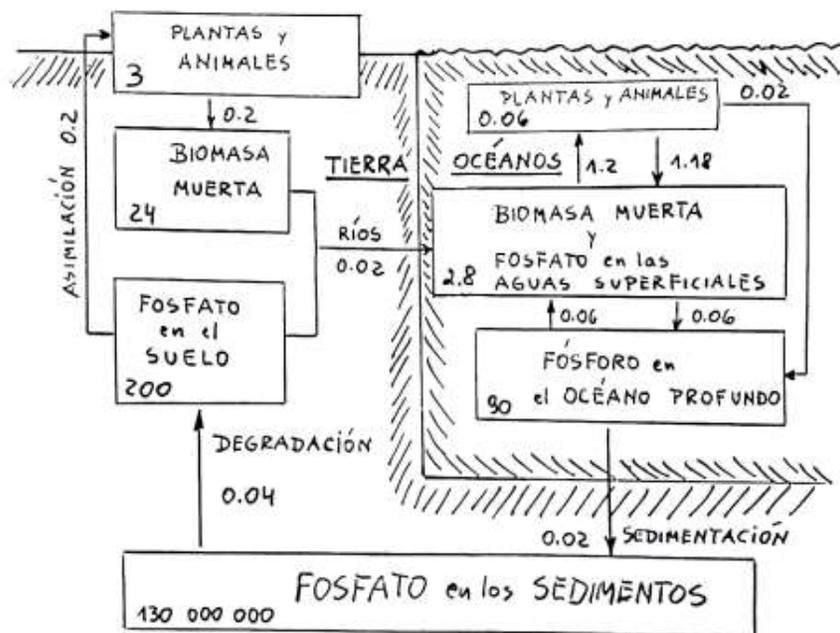
Los nitratos son muy solubles y llegan fácilmente a las raíces de las plantas. Por lo tanto, los fertilizantes en forma de nitratos (salitre) muestran efectos rápidos, pero su exceso y sobre todo su utilización en tiempos de lluvia causan el aumento de la concentración de nitrato en las aguas por el efecto de la lixiviación.

Los fertilizantes de amonio (NH_4^+), la urea y los fertilizantes naturales tienen mayor efecto de depósito por la necesidad de transformar el nitrógeno en el ion nitrato. El nitrógeno es el único elemento de los nutrientes de las plantas que puede llegar a la atmósfera, causado por los procesos microbiológicos de la desnitrificación. Desnitrificación



El fósforo se halla en el suelo en forma de los fosfatos (PO_4^{3-}). En los suelos alcalinos los iones fosfato forman el casi insoluble fosfato de calcio y en los suelos ácidos se forman los fosfatos de hierro y de aluminio que tampoco son solubles. El fósforo es uno de los elementos esenciales tanto para las plantas como para los animales y seres humanos. Lo excepcional del fósforo en el ecosistema es que en su ciclo natural no participa la atmósfera.

Figura 101 Ciclo natural del fosforo



Los cifras en los rectángulos son las cantidades en 10^9 t.
Las cifras al lado de las flechas son las cantidades transportadas en 10^9 t/año

El 60 % del fósforo en el suelo está fijado en forma de compuestos inorgánicos y el resto en forma de compuestos orgánicos (humus).

En las áreas de los cultivos, las cosechas quitan del ecosistema grandes cantidades de fósforo. Los procesos naturales de la degradación de los minerales no son suficientemente rápidos para sustituir esta pérdida. Por lo tanto, es necesario utilizar los fertilizantes de fosfato. Sin embargo, las reservas mundiales de fósforo son pocas. Actualmente, la industria transforma el 80 % del fósforo en fertilizantes y el 15 % en detergentes. Se estima que hasta el año 2040, bajo la condición de un consumo constante, las reservas accesibles se reducen a la mitad.

El uso de los fertilizantes, sin duda alguna, parece ser necesario para satisfacer la demanda mundial de alimentos.

Más o menos un tercio de una hectárea alcanzaría para alimentar una persona si la infraestructura de un país funcionara y si sus agricultores trabajaran a base de los conocimientos científicos hasta ahora ya logrados.

Figura 102 Desarrollo mundial de la utilización de los fertilizantes químicos y del área de cultivo entre los años 1950 y 1990



La productividad ha crecido indistorsionalmente, en los países desarrollados más rápidamente que en los otros países. Por ejemplo, en Alemania, en el año 1970 se cosechó 1 t de trigo por hectárea y actualmente se cosecha 4.5 t por hectárea en promedio y 7 t por hectárea como valor máximo.

3 Las cargas del suelo

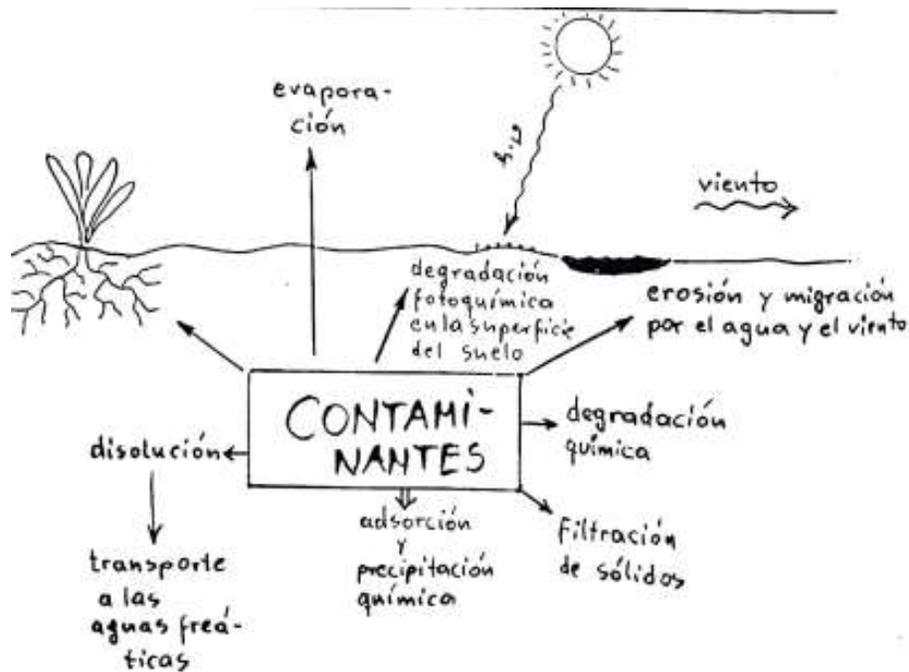
3.1 Generalidades

Muchas sustancias que llegan al suelo pueden ser peligrosas para los microorganismos, las plantas, los animales y también para los seres humanos. Su acción puede ser una directa o, después de su lixiviación, una indirecta por medio del agua. La acción indirecta también es posible por su acumulación en ciertas plantas, de esta manera entrando a las cadenas alimenticias.

La degradación de los contaminantes sucede, sobre todo, por los microorganismos o por las reacciones químicas dentro del suelo o en su superficie.

El suelo es un buen absorbente y muchas veces los procesos de degradación son lentos, lo que causa efectos de acumulación de los contaminantes en el suelo. Esto puede trastornar o hasta interrumpir los procesos normales en el suelo.

Figura 103 Esquema de las diferentes rutas de migración y degradación de los contaminantes en el suelo



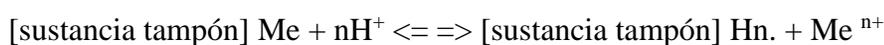
El origen de las cargas del suelo puede ser muy variable. Muchos contaminantes llegan de la atmósfera en forma de deposiciones secas o húmedas. Otros llegan de las aguas contaminadas durante alguna inundación, cuando se utiliza el agua contaminada para el riego o por las aguas de infiltración de vertederos que no son establecidos correctamente. En las áreas industriales los contaminantes pueden entrar al suelo directamente o también con el agua. Una carga importante tiene su origen en las varias basuras tiradas o no correctamente tratadas. También la agricultura puede causar gran contaminación del suelo por la utilización inadecuada de los fertilizantes, tanto químicos como naturales, o de lodos de las plantas de tratamiento de agua.

3.2 Las sustancias ácidas

El valor pH del suelo determina su propiedad de suministrar a las plantas los nutrientes necesarios.

El aumento de las sustancias ácidas (= disminución del pH) causa la disminución del crecimiento de las plantas, sobre todo, porque la muerte de los hongos disminuye la superficie activa de las raíces.

En el suelo normal suceden varias reacciones que causan la formación de protones (H^+), como p. ej. $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$, o la formación de los ácidos húmicos. Pero el suelo normal y sano tiene suficiente capacidad tampón para compensar este aumento de la concentración de protones. En el caso de las precipitaciones ácidas, causadas por los gases SO_2 y NO_x y el exceso de algunos fertilizantes, como p. ej. el sulfato de amonio y los superfosfatos, disminuyen considerablemente el pH del suelo porque la concentración de los protones suministrados sobrepasa la capacidad de tampón del suelo. La consecuencia es que varios iones metálicos de los nutrientes, como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , fijados en las sustancias tampón del suelo que frecuentemente a la vez tienen propiedades de intercambiadores de iones, son liberados y migran fácilmente a las aguas freáticas más profundas:



(carbonatos y minerales arcillosos)

3.3 Los pesticidas

Mientras que los fertilizantes sirven para aumentar los rendimientos, los productos antiparasitarios se utilizan para asegurar las cosechas.

En dependencia de los organismos que dañan a los cultivos hay diferentes tipos de pesticidas (latín: pestis = la peste; cidere = matar):

Los acaracidas para combatir los ácaros, los alguicidas para combatir las algas, los bactericidas para combatir las bacterias, los viricidas para combatir los virus, los fungicidas para combatir los hongos, los herbicidas para combatir las malas hierbas, los insecticidas para combatir los insectos, los molusquicidas para combatir los caracoles y limazas, los rodenticidas para combatir los roedores.

Hoy día, mundialmente la mayoría de las plantas útiles y los productos agrícolas son tratados con pesticidas de varios tipos: Más del 99 % de los cultivos de frutas, uva, trigo y papa, más del 95 % de los cultivos de maíz, más del 60% de las plantas forrajeras. Al lado de sus propiedades deseadas, los pesticidas frecuentemente muestran también propiedades no deseadas, como p.ej.:

- Toxicidad para el hombre,
- Formación de residuos no deseados y distribución global,
- Acumulación en la cadena alimenticia,
- Daños para los animales útiles y los organismos en el suelo,
- Dosificación difícil,
- Contaminación de las aguas freáticas y superficiales,
- Perturbación de las plantas de tratamiento de agua,
- Contaminación del agua potable,
- Cambios del sabor de los productos agrícolas.

Por lo tanto, los pesticidas causan cierto peligro para el medio ambiente, sobre todo sus aplicaciones inadecuadas, aunque sus cantidades utilizadas son mucho menores que las de los fertilizantes.

Algunos pesticidas llegan fácilmente a los suelos, donde entran en las capas intermedias de los minerales arcillosos o forman agregaciones con las sustancias húmicas. De ahí entran poco a poco a las aguas freáticas. En cuanto a la estructura química de los pesticidas puede diferenciarse entre:

- Los hidrocarburos clorados,
- Los ésteres y tioésteres de varios ácidos del fósforo
- Los carbamatos
- Los derivados de la urea
- Los compuestos heterocíclicos, como p. Ej. Las 1,3,5 -triazinas cloradas
- El ácido fenoxiacético clorado

Los hidrocarburos clorados son los más persistentes de todas estas clases de compuestos y son los de mayor utilización.

Persistencia: los hidrocarburos clorados	2 - 5 años (i DDT > 10 años!)
Los derivados de urea	2 - 18 meses
Los carbamatos y los ésteres de los ácidos de fósforo	2 - 12 semanas

El DDT fue el primer insecticida sintético. El químico suizo Paul H. Müller lo sintetizó y descubrió su actividad insecticida en 1939. Por este descubrimiento el recibió el Premio Nobel en 1948, porque el DDT sirve para combatir varias enfermedades tropicales, como p. ej. la malaria. Más tarde se encontró que el DDT también tiene varias desventajas, como:

- Después de su aplicación repetida, los insectos muestran inmunidad (de los mosquitos que contagian la malaria ya 24 especies son resistentes al DDT).

- El DDT tiene una muy alta resistencia y por esto ya es un contaminante ubicuo, (hasta en el hielo antártico han encontrado restos del DDT).
- El DDT muestra alta bioacumulación (valor BCF > 10 000); p.ej., en Japón se detectó en los años 70 y 80 que la leche materna contenía un promedio de 0.035 ppm de DDT que es un valor mayor que los límites permitidos en varios países para los alimentos de los bebés.

4 Los metales pesados

4.1 Generalidades

Los metales pesados son aquellos que tienen una densidad mayor que 5 g/cm^3 . Los compartimientos aire, agua y suelo contienen estos metales pesados en concentraciones variables. Una fuente importante de ellos es la combustión de carbón, de plantas (madera) y de petróleo porque estos combustibles contienen casi todos los elementos químicos. Los metales pesados, como también otros elementos químicos, pueden ser esenciales para la materia viva o pueden ser innecesarios y, a partir de ciertas concentraciones, frecuentemente tóxicos.

Figura 104 Metales pesados

Elemento	Esencial o toxico para las plantas:	Plantas	Animales	Densidad[g/cm ³]
Pt		X		21.4
Hg		X	X	13.59
P		X	X	11.34
Mo		E	E X	10.2
Cu		E X	E X	8.92
Ni		X	E	8.90
Co			E	8.9
Cd		X	X	8.65
Fe		E	E	7.86
Sn			E	7.28
Cr			E	7.20
Mn		E X	E	7.2
Zn		E X	E	7.14
V		E X	E	5.96

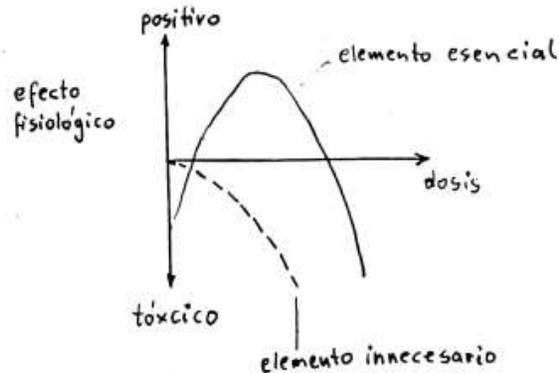
El gráfico muestra el efecto fisiológico en función de la dosis para dos tipos de elementos. El eje vertical representa el efecto fisiológico, con 'positivo' hacia arriba y 'tóxico' hacia abajo. El eje horizontal representa la dosis. Una curva sólida, etiquetada como 'elemento esencial', muestra un efecto fisiológico positivo que aumenta con la dosis hasta un punto óptimo y luego disminuye. Una curva punteada, etiquetada como 'elemento innecesario', muestra un efecto fisiológico negativo (tóxico) que aumenta en magnitud con la dosis.

Si algún elemento químico es esencial o no, depende de su participación en las reacciones bioquímicas del organismo correspondiente. Si se trata de un elemento esencial entonces su deficiencia causa enfermedades o por lo menos el mal funcionamiento de uno de los procesos del metabolismo. El mismo elemento en exceso frecuentemente es tóxico.

Para que se desarrolle el efecto tóxico de un elemento químico la solubilidad o volatilidad del elemento o de sus compuestos y la manera o el camino de entrar al organismo juegan un gran papel.

Algunos elementos, como p.ej. el plomo (Pb) y el mercurio (Hg), son tóxicos y fácilmente disponibles. Otros, aunque tóxicos, forman compuestos insolubles o se hallan en concentraciones muy bajas y, por lo tanto, bajo las condiciones normales no son tan peligrosos.

Figura 105 Efecto toxico de algunos elementos químicos



Normalmente no tóxico	Fácilmente accesible	Tóxico casi no soluble o muy raro
Na,K,Mg,Ca,H,O,N,C,P,Fe,S,Cl,Br, F,Li,Rb,Sr,Al,Si	Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Ha, Te, Pb, Sb, Bi	Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, La y lantánidos, Os, Rb, Ir, Ru, Ba

El aluminio (Al) es toxico en los suelos y aguas, si esta liberado por algún acido.

Figura 106 Composición de un cuerpo humano de 70 kg

Una persona de peso normal contiene menos de 10 g de los metales esenciales.

H	7000	K	140	Rb	1.1
B	0.01	Ca	1050	Sr	0.14
C	12600	Ti	0.01	Zr	0.3
N	2100	V	0.02	Nb	0.1
O	45500	Cr	0.005	Mo	0.005
F	0.8	Mn	0.02	Cd	0.03
Na	105	Fe	4.2	Sn	0.03
Mg	35	Co	0.003	Sb	0.7
Al	0.1	Ni	0.01	I	0.03
Si	1.4	Cu	0.11	Ba	0.016
P	700	Zn	2.33	Pb	0.08
S	175	As	0.014		
Cl	105	Se	0.02		

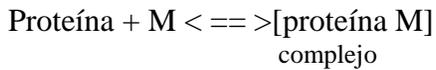
En el metabolismo normal de un organismo existen equilibrios entre el suministro y la salida de los metales.

Figura 107 Vida media biológica

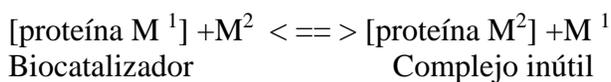
Metal	Cantidad [mg/d]	Vida media biológica
Cr	0.25	1.7 a
Mn	4.4	17 d
Fe	15000	2.3 a
Co	0.4	9.5 d
Cu	1.3	80 d
Zn	14500	2. 6a
Mo	0.3	5 d
Cd	0.03	> 10 a (hígado y riñones) 1 a (cerebro)
Hg	0.003	30...60 d (resto del cuerpo)
Pb	0.35	10... 30 d (sangre) 2 a(esqueleto)

En la naturaleza, en la mayoría de los casos, los metales se hallan en forma de sus compuestos: los óxidos, las sales (iones) o los complejos; como sólidos, disoluciones o adsorbidos en la superficie de otros sólidos y partículas coloidales.

Dentro de los organismos, en la mayoría de los casos, los metales (pesados), tanto los esenciales como los demás, forman complejos con las proteínas. Algunas de las proteínas, pero también varios de estos complejos, actúan como biocatalizadores (enzimas) para controlar ciertos procesos del metabolismo. Por lo tanto, la toxicidad de un metal (pesado) puede tener su causa: o en la formación de complejos con las proteínas que son biocatalizadores y de tal manera bloquearlas



o en la transformación de un complejo útil (biocatalizador) en otro complejo inútil, por la competencia del metal contaminante con un metal esencial que forma parte del complejo útil, y de tal manera impedir las reacciones bioquímicas normales.



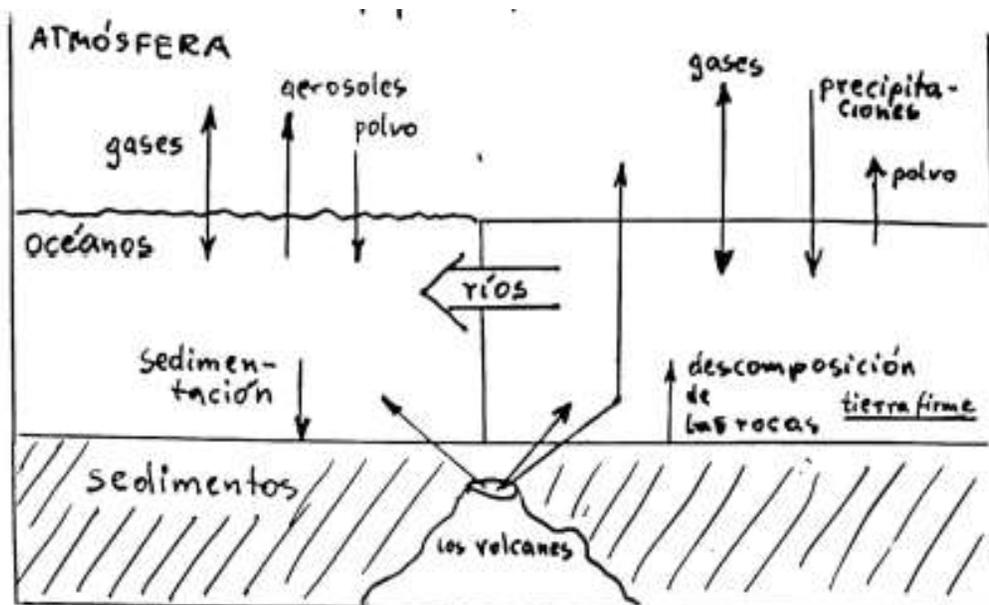
Las concentraciones de los biocatalizadores en un organismo o en uno de sus órganos es muy baja. Por esto ya concentraciones bajas de los metales tóxicos pueden causar la perturbación o la interrupción de su función normal.

La toxicidad aguda de un metal depende:

- De su forma (compuesto químico) en la cual se halla, del camino por el cual el metal entra al organismo,
- Del organismo, su edad, su estado de desarrollo y su estado de salud, - de la concentración del metal o de sus compuestos en el ambiente del organismo o en uno de sus órganos.

Los metales pesados, como todos los elementos químicos, participan en ciclos naturales.

Figura 108 Ciclo de los metales



En estos procesos de migración, otra vez la atmósfera tiene gran importancia, por lo menos para algunos de los metales pesados.

Para comparar las emisiones naturales con las emisiones antropógenas se utiliza el llamado factor de interferencia IF (semejante al factor A/N).

IF = cantidad de las emisiones antropógenas/cantidad de emisiones naturales

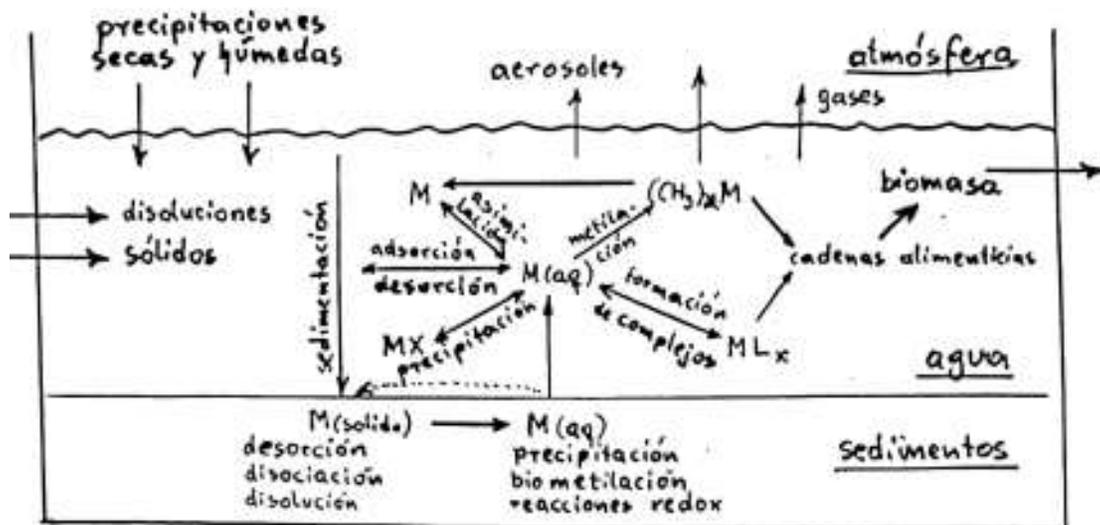
Un valor IF= 1(= 100 %) significa que las emisiones naturales y antropógenas son de la misma cantidad, valores mayores de 100 %, como p. ej. para el plomo o el mercurio, muestran que las emisiones antropógenas son mayores que las naturales.

Figura 109 Emisiones naturales y antropógenas de elementos

Las emisiones naturales y antropógenas de algunos elementos			
Elemento	Emisión natural [10^2 t/a]	Emisión antropógena	IF [%]
Al	490000	72000	15
Fe	278000	107000	38
Co	70	44	63
Cr	584	940	161
Cu	193	2630	1343
Cd	2.9	55	1897
Zn	358	8400	2346
Hg	0.4	110	27500
Pb	58.7	20300	34583

Afortunadamente, muchos metales pesados forman, en contacto con agua, varios compuestos no o difícilmente solubles y salen precipitando de tal manera de los ciclos biológicos.

Figura 110 Precipitación de los metales en el agua



Los metales pesados no pueden ser degradados biológica o químicamente como los contaminantes químico-orgánicos. La única posibilidad es el cambio de su nivel de oxidación en alguna reacción de oxidación-reducción, o su transformación en otro compuesto del mismo nivel de oxidación. Son éstas las reacciones que frecuentemente generan los compuestos tóxicos o que causan la inmovilización de los metales. Por lo tanto, la persistencia de los metales pesados en un compartimento es muy grande y, por otro lado, muchas veces ellos son transportados por largos tramos y durante tiempos también largos sin sufrir algún cambio químico.

Una autopurificación de los suelos en cuanto a los metales pesados no es posible. La fijación de los metales (pesados) en las sustancias húmicas y los minerales arcillosos es tan fuerte que ellos son acumulados en los suelos.

Bajo ciertas condiciones, sobre todo cuando el pH del suelo baja por cualquier causa, los iones de los metales (pesados) son liberados y pueden migrar a las aguas subterráneas y entrar al metabolismo de las plantas y a las cadenas alimenticias.

Los organismos pueden excretar los metales pesados. Sin embargo, este proceso es lento y por esto sus vidas medias biológicas son largas, especialmente las de los metales pesados peligrosos para los seres humanos: mercurio, plomo y cadmio.

Las fuentes antropógenas de estos metales son las centrales termoeléctricas, las plantas industriales, sobre todo las plantas metalúrgicas, las plantas incineradoras de basura, el tráfico y los abonos minerales. Las concentraciones de los metales pesados en las zonas rurales, urbanas e industriales tienen más o menos relaciones de 1:10: 100.

Cuanto mayor es la concentración de las sustancias húmicas y de los minerales arcillosos en el suelo, tanto mayor es su capacidad de fijar los metales pesados. Por lo general la concentración de los metales pesados en las plantas aumenta con la concentración creciente en el suelo. Se define el llamado factor de transferencia F.

$$F = (\text{concentración del metal en la planta}) / (\text{concentración del metal en el suelo})$$

El valor de este factor depende sobre todo del metal, pero también de la especie de plantas. Con respecto a las transiciones suelo ----> planta se consideran como muy inmóviles los metales Pb y Hg y como relativamente móvil el cadmio (Cd).

Figura 111 Factores de transferencia

Factores de transferencia (F) para la migración de algunos metales pesados suelo plantas		
Elementos	F	Movilidad de iones
Pb, Hg, Co, Cr	0.01...01	muy inmóvil
Ni, Cu	0.1...1.0	moderadamente móvil
Zn, Cd, TL	1.0...10	bien móvil

4.2 El mercurio (Hg) como contaminante Cerash

El mercurio es el único metal líquido a la temperatura del ambiente y muestra una alta presión de vapor. La atmósfera saturada de Hg a la temperatura de 25 °C contiene más o menos 30 mg Hg por m³ de aire. El mercurio no es un elemento muy abundante, sin embargo, está concentrado en varios minerales. Su producción mundial tiene un volumen alrededor de 10 000 t por año.

El Hg se utiliza como metal en la industria, en la medicina dental y en ciertos instrumentos de medición. En forma de sus compuestos orgánicos se utiliza el Hg como fungicida y en las pinturas especiales para los barcos para evitar el crecimiento de organismos marinos sobre el buque. Un compuesto orgánico típico del mercurio es el acetato de fenilmercurio.

Algunos compuestos inorgánicos del mercurio se utilizan como catalizadores en la industria química. Las emisiones de Hg se estiman entre 40 000 t y 50 000 t por año.

Las fuentes más importantes del mercurio son las fuentes naturales: En procesos químicos y bioquímicos, a partir de sus compuestos insolubles, sobre todo el sulfuro de mercurio, y del metal se forman en la naturaleza los productos de metilación H₃C - Hg⁺ que es hidrófilo, y (H₃C)₂ Hg que es lipófilo y volátil. Estos compuestos de mercurio son los responsables para la distribución del mercurio en la hidrosfera y la atmósfera.

Las fuentes antropógenas representan más o menos un tercio de todas las emisiones. El mercurio elemental y todos sus compuestos son tóxicos para toda la materia viva. El mercurio actúa sobre todo como bloqueador de las enzimas por causa de su gran afinidad de formar complejos muy estables con todo tipo de compuestos que contienen átomos de azufre. La estabilidad extraordinaria de estos complejos causa que los daños normalmente semi permanentes.

El mercurio elemental es muy poco soluble en agua. Por esto su resorción en el tubo digestivo prácticamente no tiene lugar. Por otro lado, el vapor monoatómico del mercurio, una vez inhalado, fácilmente puede penetrar las membranas de los pulmones y entrar a la sangre. El mercurio, transportado por la sangre, llega al cerebro y allá causa graves daños.

Los compuestos de mercurio más peligrosos son sus alquilderivados, como el dimetilmercurio $(\text{H}_3\text{C})_2\text{Hg}$ o las sales del catión de monometilmercurio $\text{H}_3\text{C}-\text{Hg}^+$. Estos compuestos se forman a partir de otros compuestos de mercurio por las actividades de algunos microorganismos anaeróbicos, sobre todo en los lodos de los ríos y lagos contaminados con mercurio, y tienen la propiedad de penetrar fácilmente las membranas celulares.

El mercurio es acumulado a lo largo de las cadenas alimenticias. El factor de bioacumulación BCF en los organismos acuáticos es muy alto. Una vez dentro del organismo humano, el mercurio se acumula en el cerebro.

La mayoría de las intoxicaciones con mercurio ocurren por medio de los alimentos. Un ejemplo impresionante es la tragedia de la bahía de Minamata (Japón) en el año 1956. Allí en ese lugar, las aguas negras de una planta química, que contenían mercurio, entraron durante varios años sin ningún tratamiento previo directamente al mar. Los microorganismos transformaron el mercurio en el cloruro de metilmercurio $\text{CH}_3-\text{Hg}^+ \text{Cl}^-$, éste se acumuló poco a poco en los peces que son el alimento principal de la gente en esa región. El resultado fue la muerte de casi 100 personas y daños permanentes para mucha gente. Mientras que la concentración máxima permitida de mercurio en el pescado tiene valores entre 0.5 y 1 mg/kg (en dependencia del tipo de pescado), las concentraciones medidas en los peces de la bahía de MINAMATA eran entre 10 y 30 mg / kg.

Bajo las condiciones normales, un adulto toma diariamente 0.3 ug (= 0.000 000 3 g) de mercurio elemental en el aire que respiramos, 0.1 ug en forma de sales (Hg^{2+}) disueltas en el agua y 3 ug de mercurio en forma de CH_3Hg^+ con los alimentos.

Las mayores concentraciones de mercurio se hallan en el pescado (0.257 ng/kg en los peces del agua dulce y 0.128 ng/kg en los peces del mar), en los riñones (0.246 ng/kg en los del cerdo y 0.077 ng/kg en los de reses) y en el hígado de cerdo (0.05 ng/kg).

4.3 El plomo (Pb)

El plomo es uno de los contaminantes metálicos principales en la atmósfera. Aunque el plomo no es un metal muy abundante en la corteza terrestre, su utilización es muy común. El plomo es un contaminante ubicuo. Los motores de combustión son la fuente principal de la contaminación del medio ambiente por el plomo. El tetraetilplomo se descompone en el motor formando los radicales de etilo



El plomo se transforma en varios óxidos y halogenuros que salen con las gasas de escape y que después sufren depositación húmeda o seca. El polvo de las calles y carreteras contiene mucho plomo.

El plomo, por un lado, llega del suelo al agua y del agua a las plantas. Por otro lado, las depositaciones húmedas de los compuestos de plomo en los aerosoles causan capas adsorbidas en las superficies de las plantas. El plomo entra a través de las plantas en las cadenas alimenticias.

El plomo no es un elemento esencial para los seres humanos, animales y plantas. Al cuerpo humano el plomo entra en forma de sus compuestos inorgánicos por medio de la comida y las bebidas o con los aerosoles por las vías respiratorias. El plomo de los aerosoles, una vez en los pulmones, entra más fácilmente en la sangre que el plomo que contienen las comidas.

La acción tóxica del plomo se desarrolla en los huesos donde el plomo sustituye al calcio. Además, el plomo puede bloquear las enzimas por la formación de complejos estables. Cáncer ligado.

4.4 El cadmio (Cd)

El cadmio se utiliza sobre todo en las pilas de níquel-cadmio, como capas de protección para artículos de metal, como pigmentos en algunas pinturas y como estabilizador del cloruro de polivinilo. El cadmio que se halla en el medio ambiente tiene su origen en la industria metalúrgica. Su distribución tiene lugar por medio de los aerosoles, los fertilizantes químicos y los lodos de las plantas de tratamiento de agua.

Entre el 5 % y el 10 % de las emisiones (8000 t/ año) son de fuentes naturales.

El cadmio es un elemento no esencial. Se acumula a lo largo de las cadenas alimenticias y en el cuerpo humano en el hígado y los riñones. El cadmio y sus compuestos son cancerígenos y teratógenos y causan transformaciones dolorosas del esqueleto.

El hombre toma normalmente entre 20 ug y 30 ug de Cd / día con la comida (el 85 %) y el agua potable (el 15 %). Estos valores se aumentan mucho para los fumadores porque el humo de un solo cigarrillo contiene hasta 0.2 ug de cadmio. Su resorción en los pulmones es rápida. 20 cigarrillos por día duplican la toma normal. El humo de tabaco también influye sobre los no fumadores en las cercanías de los fumadores.

5 Las cargas antiguas

En todos los países existen áreas contaminadas desde el pasado. Estas cargas causan o pueden causar varios peligros para la gente. Muchas veces se detectan estas cargas solamente en el momento del reuso de un terreno.

En la mayoría de los casos se trata de vertederos antiguos que no correspondieron tecnológicamente a un vertedero controlado, moderno y seguro o se trata de terrenos anteriormente utilizados por plantas industriales. A veces también se trata de restos militares.

El peligro consiste o en la liberación de los contaminantes hacia el aire y las aguas o en el contacto directo con el suelo.

Por lo general, también en los países desarrollados, faltan criterios (y leyes) para el saneamiento de tal tipo de terrenos contaminados.

Se diferencia entre los métodos pasivos y activos. Los métodos pasivos sirven para aislar los contaminantes e interrumpir los caminos de su migración. Los métodos activos son procedimientos de la descontaminación.

Se diferencian entre los procesos "in-situ" y "ex-situ", es decir, procesos sin o con mover el suelo contaminado. Los procesos más exitosos son el lavado del suelo o su tratamiento térmico. En los dos casos resulta el traslado de los contaminantes de un medio (suelo) al otro (agua o aire), lo que exige el tratamiento subsiguiente del agua o del aire.

Otra posibilidad existe en la degradación microbiológica de los contaminantes biodegradables. Este proceso es un proceso lento y algunos contaminantes no son biodegradables.

Capítulo V. Los desechos

1 Vista general

Los desechos son todo tipo de objetos, cosas y materiales móviles, de los cuales el poseedor quiere deshacerse.

Esta definición abarca las basuras y también los restos de materiales "puros" de algún proceso industrial. Los últimos, en la mayoría de los casos, son de una u otra manera material reutilizables.

Todas las actividades humanas causan desechos y todos los productos útiles se transforman tarde o temprano en desechos. La generación de las materias primas, la producción de mercancías, su transporte y almacenaje y su consumo son inevitablemente conectados con la formación de desechos (Farquhar & Rovers, 1973).

Las cantidades de los desechos producidos en las modernas sociedades del despilfarro representan un problema ambiental notable.

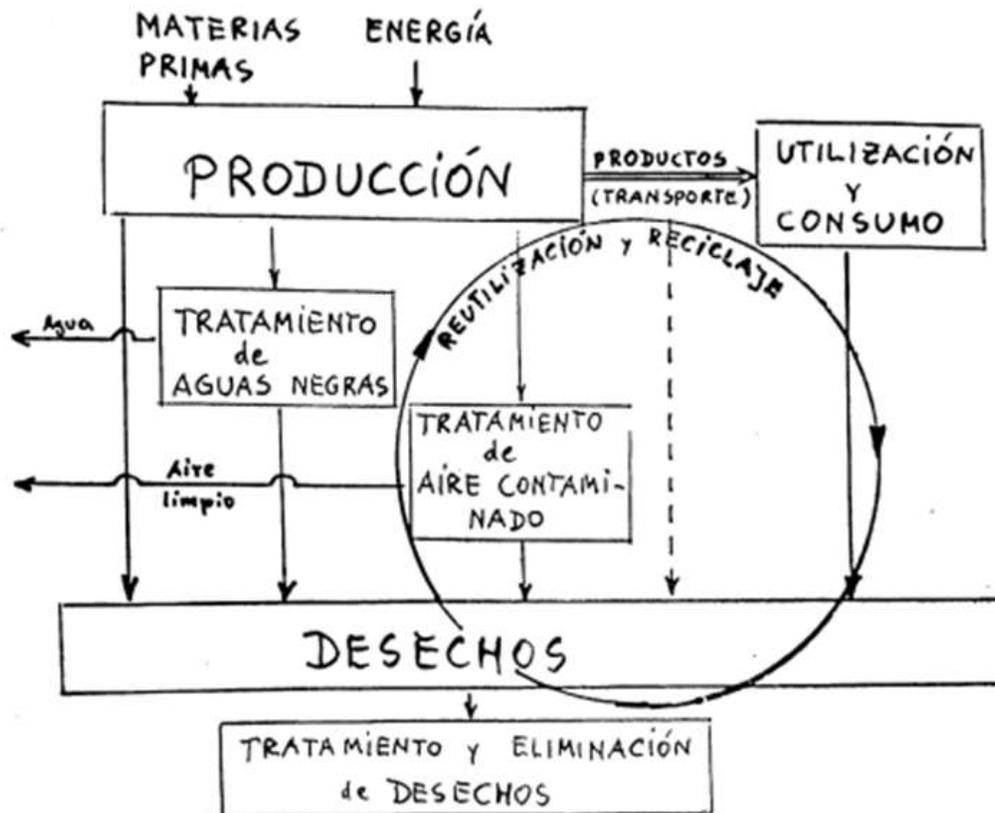
Figura 112 Generación de desechos y su interacción con el medio ambiente.



Los desechos y las medidas para eliminarlos influyen inmediatamente o más tarde sobre el aire, el agua y el suelo y así también sobre los seres humanos.

La gráfica siguiente muestra esquemáticamente como un proceso industrial contribuye a la formación de desechos:

Figura 113 Producción y desechos.



Tales esquemas sirven para evaluar un proceso industrial o un solo producto con respecto a su influencia sobre el medio ambiente.

Existen varios motivos para reciclar los desechos o para utilizarlos con otros fines:

- Los desechos y su tratamiento cargan el medio ambiente.
- Prolongar la disponibilidad de los recursos no renovables, ahorrar materias primas y energía.
- Bajo ciertas condiciones es posible transformar desechos en materiales útiles.
- Hasta su simple utilización como combustible ayuda para ahorrar energía.
- Los desechos causan costos (a veces altos) para su almacenaje, eliminación y tratamiento.
- Un vertedero controlado, seguro y moderno es costoso y frecuentemente es difícil encontrar lugares adecuados para vertederos nuevos en las cercanías de los grandes centros industriales y urbanos.

El tratamiento de los desechos incluye todas las medidas para:

- Disminuir su cantidad o volumen,
- depositarlos bajo condiciones seguras,
- transformarlos en otros materiales útiles,
- seguir elaborándolos, - reciclarlos,
- amontonarlos,
- transportarlos.

Por lo general es usual diferenciar entre:

- Los desechos comunales,
- Los desechos específicos de los procesos industriales,
- Los desechos especiales (desechos peligrosos), sobre todo de la industria, que por su carácter particular exigen el control, el tratamiento y la deposición especiales.

La cantidad de los desechos comunales per cápita varía mucho entre los países diferentes:

EEUU = 750 kg
 Noruega = 538 kg
 Luxemburgo = 504 kg
 Holanda = 500 kg
 Alemania = 350 kg
 {España, Francia, Italia, Austria y Portugal} < 300 kg

Estas cantidades dependen obviamente mucho de varios factores, como las costumbres de los consumidores, los sistemas del mercado, los sistemas de amontonar, clasificar y reciclar los desechos, la conciencia ambiental de la gente, etc.

Gran parte de los desechos comunales son los restos del embalaje de las mercancías.

Figura 114 Composición de los desechos comunales ejemplo de Alemania

Componente	Porcentaje %
Restos de plantas, comestibles, etc.	29.9
Particulos entre 8 y 40 mm	16
Papel	12
Particulos < 8 mm	10.1
Vidrio	9.2
Polímeros	5.4
Cartón	4
Metales	3.2
Pañales desechables	2.8
Productos textiles	2
Otros	5.4

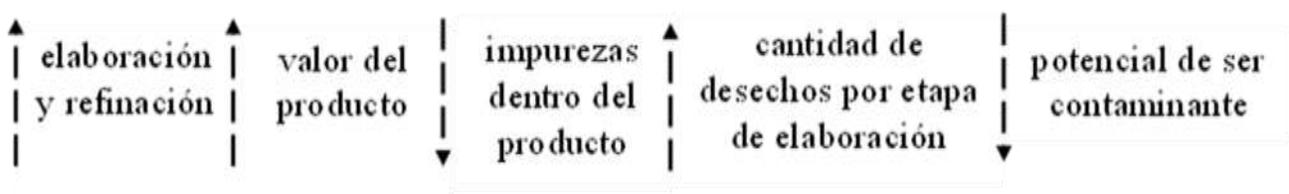
El consumo de materiales de embalaje [hg/habitante] en Alemania (como ejemplo)

Material	Años:	1990	1991	1992	1993
Vidrio		52.98	57.97	≈ 55	≈ 52
Hojalata blanca		9.31	9.42	≈ 9.3	≈ 9.1
Aluminio		1.49	1.55	≈ 1.4	≈ 1.4
Polímeros		18.17	20.09	≈ 19.1	≈ 18.1
Papel y cartón		64.10	65.22	≈ 62.5	≈ 59
Materiales combinados		4.48	5.14	≈ 5	≈ 5
Total		150.53	159.89	≈ 152.5	≈ 145

El volumen y la clase de los desechos industriales depende mucho del tipo de la industria y de la tecnología aplicada.

En los procesos industriales de la elaboración y refinación de las materias primas naturales se observa una tendencia interesante:

Con las etapas crecientes de la elaboración y refinación crece el potencial del producto a ser contaminante ambiental y decrece la cantidad de desechos producidos lateralmente en cada etapa de la elaboración.



2 Los vertederos

Es necesario diferenciar entre los vertederos no controlados (no ordenados) y los controlados (ordenados).

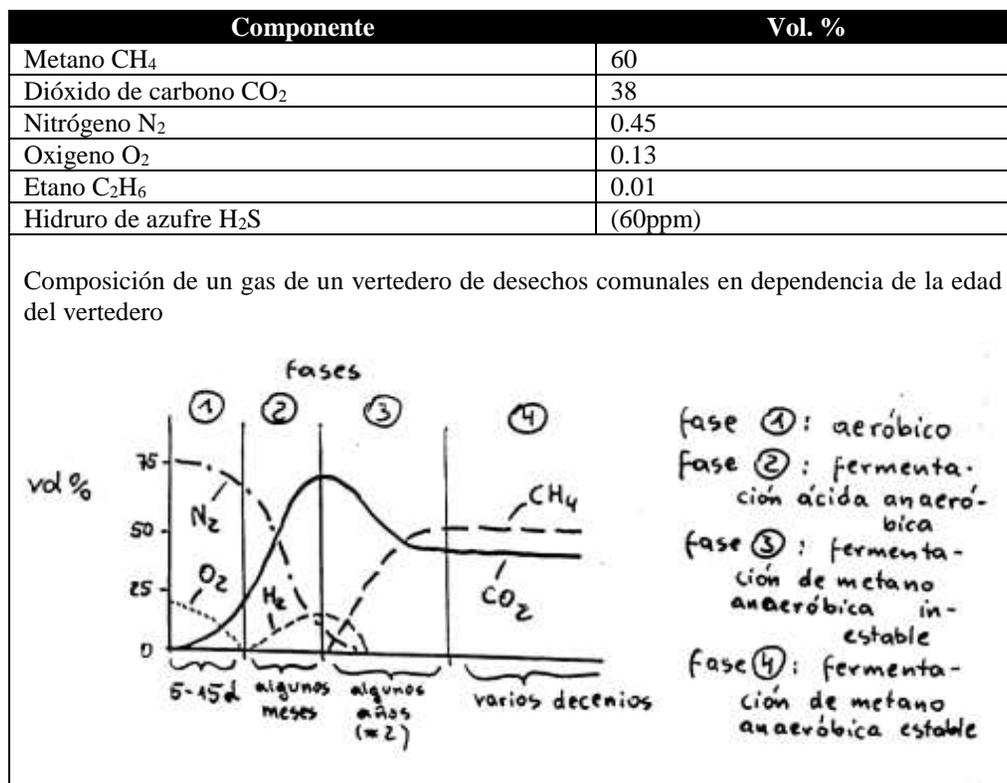
Un vertedero controlado es caracterizado por:

- Depositar los desechos y basuras en un manera controlada y ordenada para garantizar la menor posible influencia negativa sobre el medio ambiente y la gente;
- Sellar la base y la superficie para coleccionar el gas que sale del vertedero como producto de los procesos de descomposición microbiológica, para evitar que las lluvias disuelvan los desechos y productos de su descomposición solubles en agua, y para evitar que las aguas de infiltración y/o el agua formada como producto de la descomposición de los desechos entren a las aguas naturales y freáticas.

Las aguas de infiltración contienen una gran cantidad y variedad de contaminantes disueltos. Por esto hay que tratarlas en una planta de tratamiento de aguas residuales antes de dejarlas salir a las aguas naturales.

El volumen y la composición del gas que sale de un vertedero dependen del tiempo y de la composición de las basuras depositadas. La tabla y la gráfica siguientes muestran la composición del gas de un vertedero de desechos comunales.

Figura 115 Composición de un gas de un vertedero de desechos comunales



Una tonelada de desechos comunales puede generar de 150 - 250 m³ del gas, que representa una fuente energética interesante.

3 El reciclaje

En cuanto a la producción industrial y su influencia sobre el medio ambiente existen dos aspectos importantes. Uno es la aplicación de tecnologías y procesos que causen la menor influencia negativa sobre el medio ambiente = la protección del medio ambiente respecto a la producción.

El otro es la protección del medio ambiente respecto al producto, lo que significa producir productos cada vez menos peligrosos durante todo su destino entre su producción, su utilización y después como desecho. En este “currículum vitae” de un producto el reciclaje juega un gran papel.

Se diferencian entre tres tipos de reciclaje:

- El reciclaje de los restos del material elaborado;
- El reciclaje de los productos para utilizarlos varias veces como tal o para otro fin que no corresponde a su utilización original;
- El reciclaje de productos para transformarlos en otro(s) tipo(s) de producto(s).

El reciclaje “total” en un ciclo cerrado es solamente una imaginación ideal que no puede realizarse en la práctica de la producción de productos.

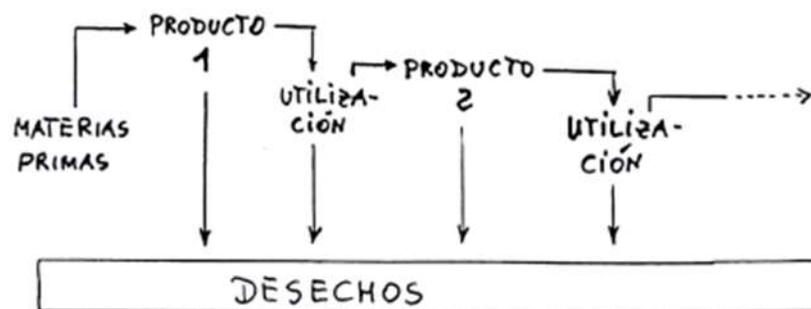
Figura 116 Fabricación de producto

La fabricación de un producto

a) con desechos no reciclables



b) con reciclaje parcial de los desechos



El reciclaje puede ahorrar materias primas y/o energía.

Por ejemplo, la reutilización de pedazos de vidrio puede ahorrar dos tercios de la energía que se necesita para la producción de vidrio a partir de las materias primas cuarzo, cal y carbonato de sodio. En la producción de acero a partir de chatarra es posible ahorrar entre el 30 % y el 50 % de la energía y en la producción de aluminio hasta el 95 %. Por esto vale la pena, pensar en tecnologías adecuadas que sirven para tal tipo de reciclaje.

El reciclaje no está libre de problemas.

Por un lado, la distribución de los desechos y la necesidad de recolección y amontonarlos incluyendo el transporte hacia el lugar de su elaboración y, por otro lado, la necesidad de purificar los desechos antes de reciclarlos puede causar costos grandes y nuevos cargos del medio ambiente que, a veces, pueden ser más grandes. Para comparar las posibilidades y decidir entre ellos es necesario hacer su evaluación ecológica.

Varias veces los productos hechos de materiales secundarios, logrados de un sistema de reciclaje, tienen propiedades peores que los productos hechos a partir de las materias primas originales.

4 Los desechos especiales

Los desechos especiales son aquellos que, según su tipo, sus propiedades o su cantidad pueden causar peligros extraordinarios para los seres humanos y / o para el medio ambiente. Por lo general se trata de desechos que exigen vigilancia especial en cuanto a su transporte, almacenaje, tratamiento y depositación en vertederos especiales.

En la mayoría de los casos es necesario realizar un pretratamiento de estos desechos especiales para disminuir su volumen y/o reducir su potencial peligroso. Los pretratamientos pueden ser la neutralización, la floculación, procesos químicos de oxidación / reducción, el tratamiento térmico, etc.

El tratamiento térmico es el único proceso macrotécnico que sirve para la transformación de la mayoría de los desechos peligrosos y sus mezclas por medio de su combustión, pirolisis, gasificación o hidración en presencia de hidrógeno. Los objetivos son varios:

- Descomponer, transformar, separar, concentrar, inmovilizar o mineralizar los componentes peligrosos; - reducir el volumen y la cantidad de los desechos;
- Aprovechar de los desechos como fuente energética;
- Regenerar los componentes útiles, p. Ej. Los metales, a partir de materiales combinados, como los restos de aparatos electrónicos.

La combustión se realiza en presencia de oxígeno a temperaturas arriba de 850 °C y se emplea, sobre todo, para tratar los desechos comunales y los lodos de las plantas de tratamiento de agua.

Figura 117 Porcentaje de la eliminación térmica de los desechos comunales de países europeos

País	%	País	%
Suiza	80	Francia	40
Dinamarca	70	Holanda	40

En una planta para la combustión de desechos hay que garantizar que las emisiones gaseosas no contaminan el medio ambiente. En la Unión Europea, a partir de este año (1997), estas plantas tienen que cumplir las siguientes normas.

Figura 118 Normas para emisiones

Las normas para las emisiones permitidas de las plantas incineradoras de basuras en la unión europea (1997).	
Polvo	5 mg/m ³
Carbono orgánico	5 mg/m ³
Compuestos inorgánicos de cloro	5 mg/m ³
Compuestos inorgánicos de flúor	1 mg/m ³
Óxidos de azufre	25 mg/m ³
CO	50 mg/m ³
Hg	0.05 mg/m ³
Dioxinas /furanos	0.1 ng/m ³

La tecnología de una planta incineradora de basuras es capaz de cumplir fácilmente estas normas.

Figura 119 Valores de emisiones antes y después de la purificación de gases de escape de una incineradora de basuras (mg/m³)

	Antes:		Después:	
Polvo		3000		<1
HCl		1200		<11
HF		12		<0.1
SO ₂		350		<1.5
Hg		no determinado		<0.05
Dioxinas/furanos		no determinado		<0.01mg/m ³

Los desechos peligrosos pueden depositarse por algún tiempo determinado en depósitos interinos, apropiados para acumularlos hasta que sea posible su tratamiento o su depositación final en un vertedero especial para los desechos peligrosos.

Los depósitos finales para los desechos peligrosos de preferencia son depósitos subterráneos, p.ej. en minas ya no explotadas. Sin embargo, no todas las minas antiguas son apropiadas para este fin. Las condiciones indispensables son que ni las emisiones gaseosas y ni cualquier líquido puedan salir del depósito. Además, hay que garantizar que tampoco las lluvias o cualquier agua freática puede entrar. Varios desechos peligrosos hay que depositarlos de tal manera que ninguna reacción química entre ellos, con el aire o el agua generen otros compuestos peligrosos, gaseosos o líquidos. En las regiones de actividades sísmicas la seguridad garantizada de estos depósitos todavía tiene otra dimensión.

En el pasado, durante muchos años, e injustamente se consideraron los océanos como vertederos cómodos, baratos y no limitados. Se practicaron y, a pesar de algunos convenios internacionales, algunos países todavía practican dos métodos diferentes para deshacerse de los desechos peligrosos. Un método, el peor, es simplemente echar los desechos al agua del mar. El otro método es quemar los desechos en barcos especiales. Este procedimiento se utilizó para descomponer los compuestos químicos halogenados porque los halogenuros de hidrógeno formados son muy fácilmente solubles en agua y, como el agua del mar es ligeramente alcalina, son neutralizados. El problema de este método resulta del hecho de que estas combustiones no son totales y no hay ninguna garantía que no se formen nuevos compuestos peligrosos como p.ej. las dibenzodioxinas halogenadas.

Un método para deshacerse especialmente de algunos desechos líquidos era y en algunos países todavía es su entrega a ciertos horizontes “seguros” del subsuelo bajo presión alta. La figura siguiente muestra para el año 1983 las relaciones entre varios métodos de tratamiento de los desechos peligrosos.

Figura 120 Eliminación de los desechos peligrosos

Deposición en vertederos	38%
Deposición en el mar	28%
Combustión	8%
Tratamiento químico	8%
Deposición interna	4%
Otros	14%

Los conocimientos científicos de la complejidad y sensibilidad del medio ambiente, logrados en los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías ambientales y el crecimiento de la conciencia ambiental de la gente han causado, causan y causarán la disminución de la cantidad y el mejoramiento continuo del tratamiento de las basuras, los desechos y los desechos peligrosos, aunque, en la mayoría de los casos, con costos crecientes.

Conclusión

A pesar de todos los logros, para la investigación de los procesos en el medio ambiente y el desarrollo de nuevas tecnologías ambientales todavía hay grandes necesidades y muchos terrenos abiertos.

Lo más importante es difundir los conocimientos sobre los equilibrios naturales y su sensibilidad en el medio ambiente y la responsabilidad de cada uno de los seres humanos para garantizar las condiciones adecuadas para las generaciones futuras.

Referencias

- Baird, C. (2018). *Química ambiental*. Reverté. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=59zeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Baird,+C.+\(2018\).+Qu%C3%ADmica+ambiental.+Revert%C3%A9.&ots=ooDvbGtjx5&sig=UflcxHjhYQb2GuVz4plKqatRQf0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=59zeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Baird,+C.+(2018).+Qu%C3%ADmica+ambiental.+Revert%C3%A9.&ots=ooDvbGtjx5&sig=UflcxHjhYQb2GuVz4plKqatRQf0#v=onepage&q&f=false)
- Chang, R. (2002). *Química*. 7ma. ed. McGraw-Hill. <https://sacaba.gob.bo/images/wsacaba/pdf/libros/quimica/Chang-QuimicaGeneral7thedicion.pdf>.
- Deshler, T.; Hofmann, D. J.; Hereford, J. V.; Sutter, C. B. (1990). *Ozone and temperature profiles over Mcmurdo Station Antarctica in the spring of 1989. Geophysical Research Letters*, 17(2), 151–154. doi:10.1029/g1017i002p00151
- Fabian P. Halogenated Hydrocarbons in the Atmosphere en: *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 4, part A, Edición: Berlín: Springer, pag. 24 - 51, (1986). <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/352086>
- Farquhar, G. J., & Rovers, F. A. (1973). Gas production during refuse decomposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2(4), 483-495. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00585092.pdf>
- Kretschmar, R., Borkovec, M., Grolimund, D., & Elimelech, M. (1999). Mobile subsurface colloids and their role in contaminant transport. *Advances in agronomy*, 66, 121-193. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60427-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60427-7)
- Ravishankara, A. R., Solomon, S., Turnipseed, A. A., & Warren, R. F. (1993). Atmospheric lifetimes of long-lived halogenated species. *Science*, 259(5092), 194-199. DOI: 10.1126/science.259.5092.194
- Skoog, D., Holler, J., West, H., & Crouch, S. R. (2015). *Fundamentos de química analítica* (Novena edición ed.). México: CENGAGE Learning. http://www.surcosistemas.com.ar/virtual/ebooks/QUIMICA_ANALITICA_Novena_edicion.pdf.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1er Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2do Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2do Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3er Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Citación: Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1er Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1er Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2do Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3er Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (eds.) Título del Book [Times New Roman No.10], Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En *el contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

Tabla 1.1 Título

Variable	Descripción	Valor
P ₁	Partición 1	481.00
P ₂	Partición 2	487.00
P ₃	Partición 3	484.00
P ₄	Partición 4	483.50
P ₅	Partición 5	484.00
P ₆	Partición 6	490.79
P ₇	Partición 7	491.61

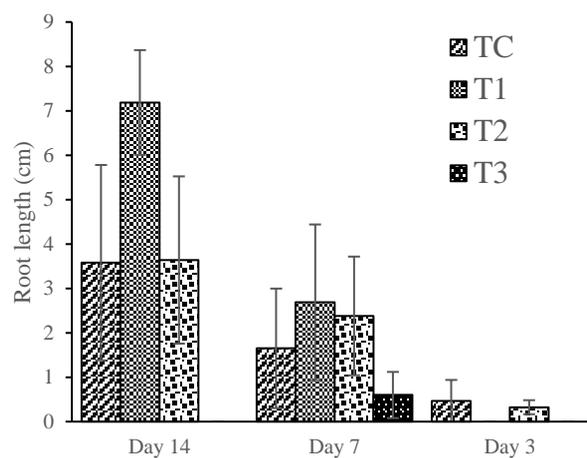
Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Figura 1.1 Título



Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Gráfico 1.1 Título



Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en 3 Carpetas: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[\frac{1(-1)}{lim} \right]^2 = \frac{(0)^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Book

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Conflicto de Intereses del Autor y Coautores.

Reserva a la Política Editorial

ECORFAN Books se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del ECORFAN Books. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el ECORFAN Books enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a ECORFAN Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Books, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citaciones-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Books con PLAGSCAN

Evaluación de Obra Científica

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Obra Científica

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Publicación de Obra Científica

Certificado de Obra Científica

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistentes Editoriales

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenida, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Camerún.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

31Kinshasa 6593- Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilómetros, carretera estadounidense, casa Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

43 Calle # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colomb

