

El ozono troposférico. Relaciones entre ozono troposférico y estratosférico

La formación natural del ozono en los niveles estratosféricos permanece normalmente constante en términos generales, aunque el valor de la concentración se puede modificar por las posibilidades del intercambio de ozono que se produce a través de la tropopausa, nivel de separación entre la Troposfera y la Estratosfera, hacia los niveles inferiores atmosféricos. La concentración de ozono natural en las capas bajas de la atmósfera –en la Troposfera– y en áreas no contaminadas viene a ser de 0,01 mg.kg⁻¹.

Con ese valor, o valores inferiores, los seres vivos realizan sus funciones vitales sin problema alguno. Además ese ozono se descompone de manera natural gracias a la acción de las partículas sólidas, los gases, etc.

Génesis del ozono troposférico. Efectos ambientales

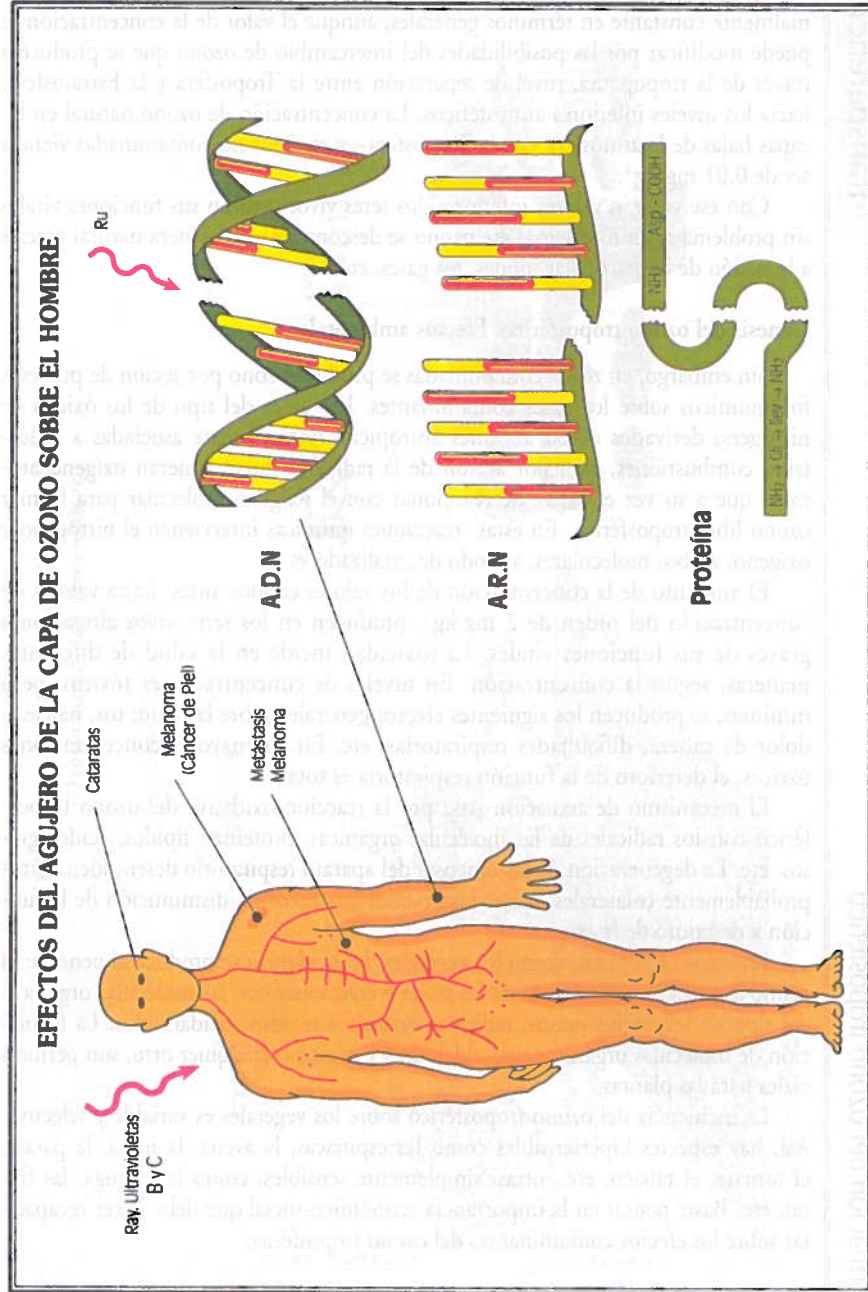
Sin embargo, en zonas contaminadas se produce ozono por acción de procesos fotoquímicos sobre los gases contaminantes. Los gases del tipo de los óxidos de nitrógeno derivados de las acciones antrópicas, normalmente asociadas a industrias, combustiones, etc., por acción de la radiación solar, generan oxígeno atómico que a su vez es capaz de reaccionar con el oxígeno molecular para formar ozono libre troposférico. En estas reacciones químicas intervienen el nitrógeno y oxígeno, ambos moleculares, a modo de catalizadores.

El aumento de la concentración de los valores citados antes, hasta valores de concentración del orden de 2 mg.kg⁻¹, producen en los seres vivos alteraciones graves de sus funciones vitales. La toxicidad incide en la salud de diferentes maneras, según la concentración. En niveles de concentraciones tóxicas, pero mínimas, se producen los siguientes efectos generales sobre la salud: tos, náuseas, dolor de cabeza, dificultades respiratorias, etc. En las mayores concentraciones tóxicas, el deterioro de la función respiratoria es total.

El mecanismo de actuación pasa por la reacción oxidativa del ozono troposférico con los radicales de las moléculas orgánicas, proteínas, lípidos, ácidos grasos, etc. La degeneración de las mucosas del aparato respiratorio desencadena otros probablemente colaterales, como los ataques asmáticos, la disminución de la función y deterioro de la estructura.

En otros seres vivos, como los vegetales, la incidencia se produce al penetrar el ozono a través de los estomas de las hojas y reaccionar con las moléculas orgánicas del tipo de los ácidos grasos, radicales orgánicos u otros, oxidándolos. La formación de moléculas orgánicas tipo aldehído y cetonas, o cualquier otro, son perjudiciales para las plantas.

La incidencia del ozono troposférico sobre los vegetales es variable y selectiva. Así, hay especies hipersensibles como las espinacas, la avena, la judía, la patata, el tomate, el tabaco, etc., otras, simplemente sensibles, como la lechuga, las fresas, etc. Baste pensar en la importancia económico-social que debe hacer recapacitar sobre los efectos contaminantes del ozono troposférico.



Radiación ultravioleta y la vida

La radiación ultravioleta que proviene del Sol puede presentar diferentes longitudes de onda, lo que permite su clasificación en radiaciones de tipo A, B, C. En concreto, la denominada radiación ultravioleta B (Ru-B), que presenta una longitud de onda comprendida entre los 290 nm y los 320 nm (nanómetros), y la radiación ultravioleta C (Ru-C), que tiene una longitud de onda comprendida entre los 240 nm y los 290 nm; son radiaciones que al tener longitudes de onda tan corta su poder energético es muy alto, y, por consiguiente, nocivas para la vida en general.

El paso de la radiación a través de la Estratosfera sin la interceptación por parte de la capa de ozono, debilitada o ausente, hacia los niveles inferiores de la Atmósfera donde se encuentra la Biosfera en general y el hombre en particular, ocasiona graves problemas.

Efectos de la radiación ultravioleta en el hombre

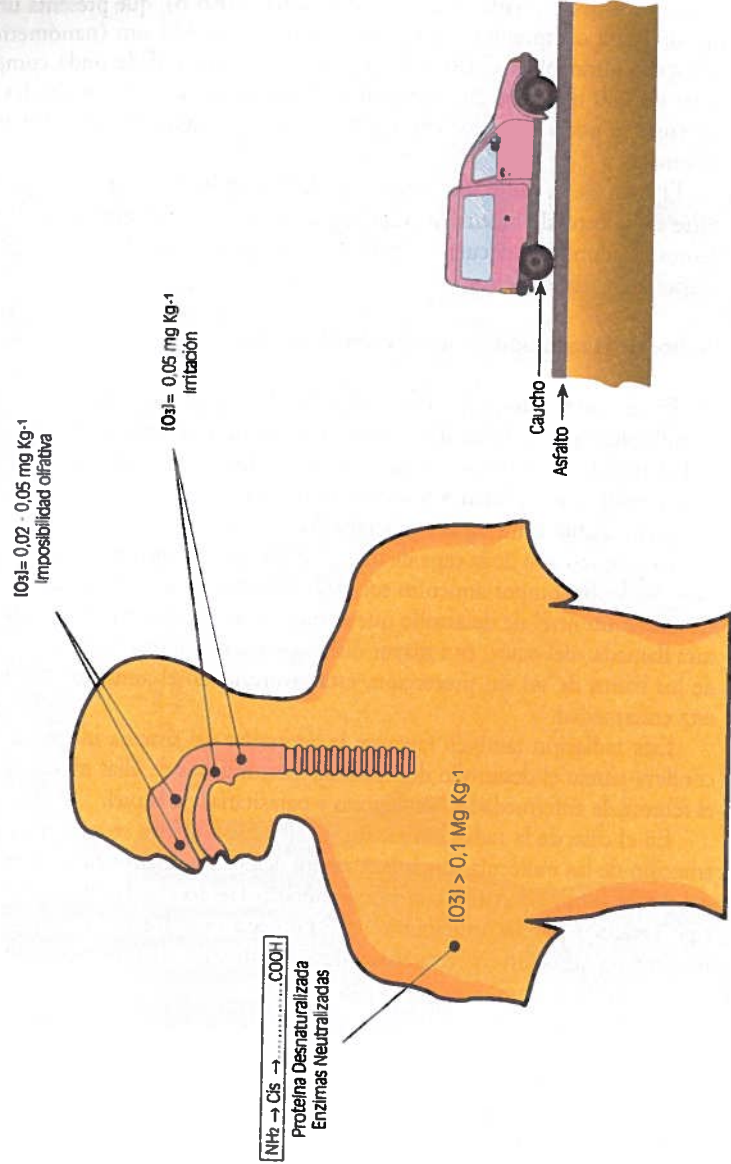
En el caso del hombre, la radiación Ru-B es la causante directa, al parecer, de la multiplicación de casos del llamado melanoma maligno, un tipo de cáncer de piel altamente invasivo que afecta a los melanoblastos, células pigmentarias, y que se transmite con facilidad a los vasos linfáticos, y de ahí se extiende por todo el cuerpo mediante la metástasis generalizada.

La disminución de la capa de ozono como causa ambiental asociada a la modificación de los comportamientos sociales en determinados países, aquellos que han alcanzado un nivel de desarrollo que permite a sus ciudadanos desarrollar una cultura llamada «del ocio», con mayor disfrute de la naturaleza en general, del medio, de los baños de sol sin protección, está favoreciendo el aumento de los casos de esta enfermedad.

Esta radiación también favorece la depresión del sistema inmunitario, lo que conlleva parejo el desarrollo de tumoraciones, muchas de ellas malignas, así como el rebrote de enfermedades contagiosas y parasitarias de la piel.

En el caso de la radiación C, Ru-C, su acción nociva se concentra en la destrucción de las moléculas orgánicas, de los ácidos nucleicos principalmente, tanto del ADN como del ARN, con lo que pueden favorecerse las afecciones graves de tipo genético por las mutaciones que por esta causa se inducen. De la misma manera actúan sobre las proteínas, desnaturizándolas y provocando la inhibición de sus funciones.

EFFECTOS DEL OZONO TROPOSFERICO SOBRE EL HOMBRE



Efectos del ozono troposférico sobre el hombre

transparencia 20

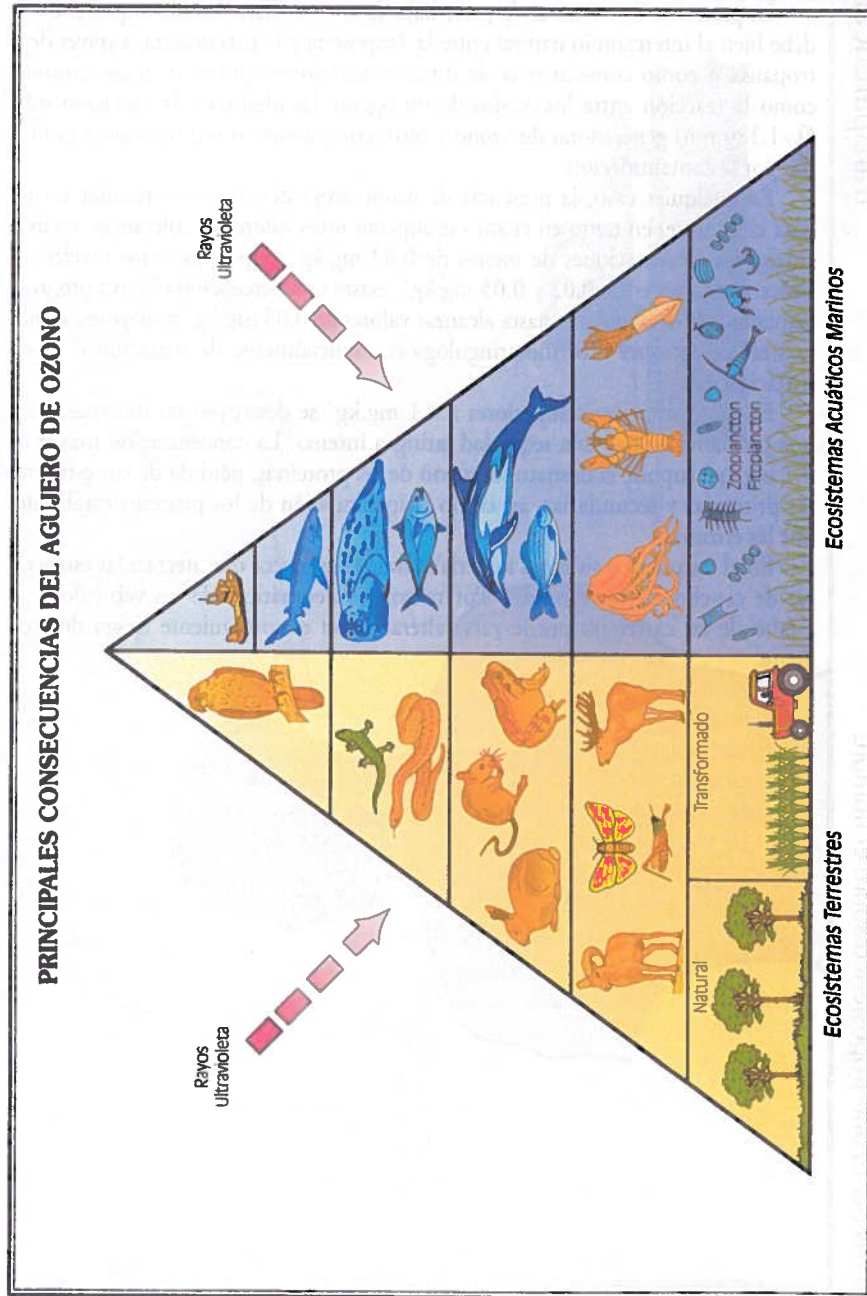
Efectos del ozono troposférico sobre el hombre

La presencia de ozono en la parte baja de la Atmósfera, ozono troposférico, se debe bien al intercambio natural entre la Troposfera y la Estratosfera, a través de la tropausa o como consecuencia de diversas reacciones químicas, unas naturales como la reacción entre los óxidos de nitrógeno, las olefinas y la radiación solar ($\lambda = 1.180 \text{ nm}$) generadoras de ozono y otros compuestos, o por reacciones inducidas por la contaminación.

En cualquier caso, la presencia de ozono troposférico puede resultar nociva para el hombre, en tanto en cuanto se superan unos valores de tolerancia, establecidos en concentraciones de menos de $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$, superados estos niveles, en concentraciones entre $0,02$ y $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$, existe una percepción olfativa progresivamente más desagradable hasta alcanzar valores de $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ o mayores, donde existen alteraciones otorrinolaringológicas, esencialmente de irritación o fuerte irritación.

En concentraciones superiores a $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ se destruyen las mucosas, aunque previamente hay una sequedad laríngea intensa. La concentración mayor de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ supone la desnaturalización de las proteínas, pérdida de sus estructuras primarias y secundarias, así como la interrupción de los procesos catalizados por las enzimas.

En el resto de los sistemas materiales humanos parece que afecta a las estructuras de caucho, deteriorándolas. Por tanto, los neumáticos de los vehículos y el asfalto de las carreteras puede verse alterado con el consiguiente riesgo de accidente.



Principales consecuencias del agujero de ozono

transparencia 21

Efectos de la radiación ultravioleta sobre los ecosistemas

La destrucción progresiva de la capa de ozono, además de la incidencia grave sobre la salud humana, vista con anterioridad, es aparentemente muy importante porque somos nosotros mismos los que la cuantificamos y valoramos desde los parámetros de la filosofía antropocentrista que nos caracteriza. Sin embargo, no deja de ser una mera anécdota si la comparamos con los gravísimos problemas que acarrea en el ecosistema general donde debíamos integrarnos, y desde donde, aunque todavía no nos hemos percatado de ello, vendrán las máximas incidencias.

Si se considera la estructura piramidal del ecosistema, ver transparencia 109, en el capítulo correspondiente del bloque temático 4, y se considera un ecosistema cualquiera dentro del sistema global terrestre –por ejemplo, el marino en general y uno terrestre natural o transformado por el hombre–, la incidencia de la radiación ultravioleta no retenida por la Ozonosfera en ellos ocasiona, a grandes rasgos, una problemática ambiental específica.

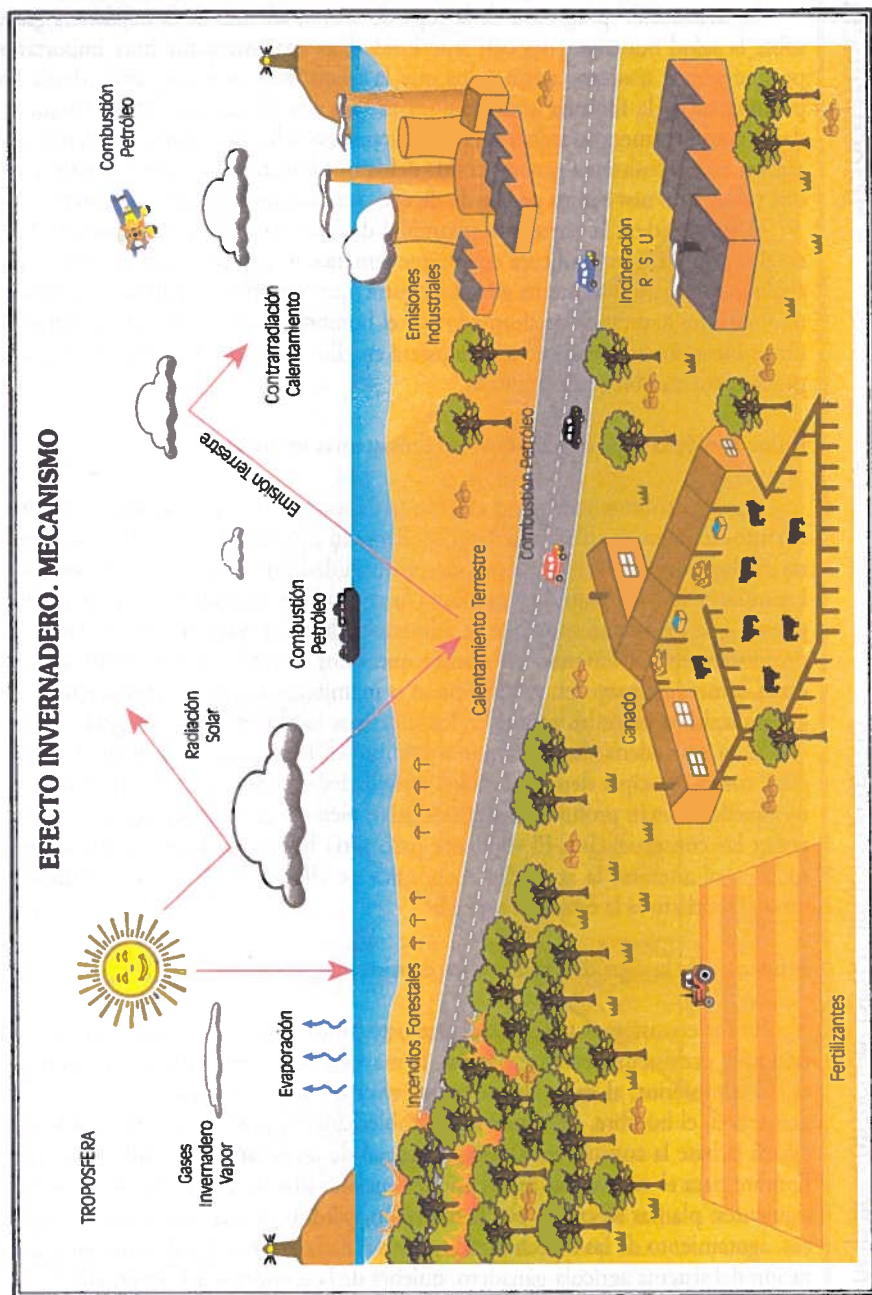
Influencia de la capa de ozono en los ecosistemas marinos

En el ecosistema marino, el escalón basal, constituido por las algas unicelulares fotosintéticas, las diatomeas, etc., el llamado fitoplancton en definitiva, moriría en los primeros veinte metros de profundidad por la radiación considerada. La muerte del fitoplancton conlleva la alteración de toda la cadena trófica, puesto que los organismos que se alimentan de él, el zooplankton, se resienten profundamente. Teniendo en cuenta que éstos sirven a su vez de alimento a otros carnívoros mayores, ya sean peces o mamíferos acuáticos, la repercusión es generalizable a todos los niveles en los sucesivos escalones del ecosistema.

Si en esa cadena consideramos al hombre en la cúspide de la pirámide ecológica, como principal depredador, sus actividades económicas como prolongación de aquélla se verán profundamente afectadas; piénsese en las pesquerías, si se extrapolan las consecuencias. El siguiente paso sería la modificación de los sistemas sociales, al alterarse la actividad económica de ellas derivadas, y, por último, se vería afectada toda la estructura social.

Influencia de la capa de ozono en los ecosistemas terrestres

En los ecosistemas terrestres ocurre otro tanto, y de forma muy parecida. En cualquier ecosistema terrestre natural, la mayoría de los vegetales que constituyen el estrato inferior, al verse alterados por efectos para su salud similares a los que ocurren en el hombre, transmitiría su problemática al resto de la cadena alimenticia. Si la base la constituye el sustrato vegetal de un ecosistema modificado por el hombre para el cultivo, las repercusiones encadenadas de forma predictiva son las siguientes: plantas afectadas por la radiación, pérdida de sus propiedades específicas, agotamiento de las cosechas, disminución de la producción de alimentos, alteración del sistema agrícola-ganadero, quiebra de la economía del sector, etc.



Efecto invernadero natural

La composición media de la Atmósfera, desde los tiempos geológicos llamados fanerozoicos hasta casi la actualidad, ha permanecido constante. Durante todo este tiempo, aproximadamente los últimos 600.10⁶ años, la radiación solar alcanzaba la Tierra en una proporción menor a la que salía del astro rey. Las pérdidas cuantificadas estaban relacionadas con las distintas capas que componían la estructura de la Atmósfera, la Ionosfera, la Ozonósfera, o los gases y polvo dispersos por ella que absorbían parte de la radiación.

La energía que esa radiación llevaba a la Tierra servía para calentar la Litósfera y la Hidrosfera, que devolvían a la Atmósfera parte de la energía absorbida en forma de radiación de longitud de onda más larga que la de incidencia. Las longitudes de onda de la radiación emitida por las capas de la Tierra no podían atravesar los gases de la Atmósfera, reflejándose de nuevo hacia la superficie, como contrarradiación, calentando los gases de ésta y manteniendo unas determinadas condiciones térmicas conocidas como efecto invernadero natural.

Acción antrópica y efecto invernadero inducido

Sin embargo, de un tiempo a esta parte la concentración de los gases minoritarios de la Atmósfera ha subido, y en concreto, la concentración del CO₂. El aporte de gases, que en condiciones naturales en la Atmósfera primitiva estaban en proporciones llamadas trazas, con génesis antrópica ligada a las actividades humanas, ha incrementado el efecto invernadero, ocasionando un aumento generalizado de la temperatura en los niveles inferiores de la Atmósfera. Así lo corrobora el hecho de que las temperaturas –que por las observaciones realizadas sobre la actividad solar mínima en la década 1982-1992– deberían haber bajado, sin embargo han crecido.

Las estimaciones que de la variación de temperaturas se hacen en los años sucesivos apuntan hacia un incremento de ésta del orden de 2-2,5°C para el año 2050. De seguir así la situación térmica de la Atmósfera, por sus graves consecuencias, sería absolutamente irreversible en pocos años.

Actividades que generan efecto invernadero

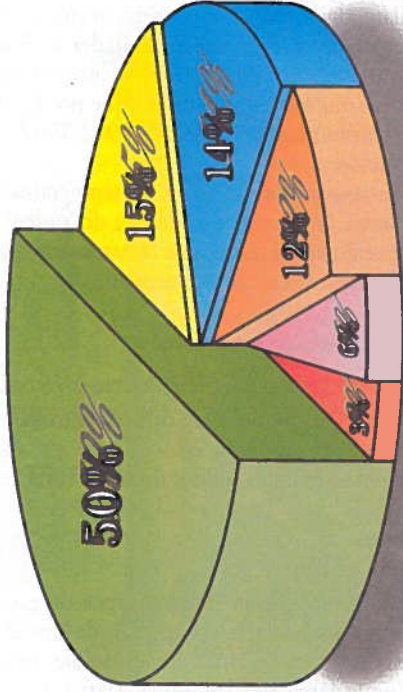
Las principales actividades que generan efecto invernadero son:

1. La quema de combustibles fósiles: carbón, petróleo, etc.
2. La quema de superficies forestales.
3. La incineración de residuos sólidos urbanos. RSU.
4. El ganado.
5. Los fertilizantes.
6. La combustión de PVC'S.

Todas estas actividades liberan diversos tipos de gases, que atrapados en las capas inferiores de la Atmósfera se comportan de manera permeable frente a la radiación solar, pero lo hacen de forma impermeable frente a la radiación emitida en longitudes de onda larga por la propia Tierra. La contrarradiación de esta manera es la que calienta los niveles inferiores de la Atmósfera, produciendo el efecto invernadero.

**PRINCIPALES GASES DEL EFECTO INVERNADERO.
CONTRIBUCION AL CALENTAMIENTO GLOBAL**

ACTIVIDAD	GAS INVERNADERO
INDUSTRIAS	
CENTRALES TERMICAS	CO ₂ , CO, NO ₂
INCENDIOS	
COCHES	N ₂ O, CH ₄
AVIONES	(c), HOLLIN
BARCOS	
INCENDIOS FORESTALES	CH ₄ , CO ₂ , NO ₂ , N ₂ O
FERTILIZANTES, GANADO	CH ₄
INCINERADORA R.S.U	CO ₂ , NO ₂ , NO
COMBUSTION PVC'S	CH



Principales gases del efecto invernadero. Contribución al calentamiento global

transparencia 23

Gases del efecto invernadero

Como puede verse en el esquema que muestra la transparencia, los principales gases del efecto invernadero son, por orden de importancia cuantificada, los siguientes: el dióxido de carbono, el metano, los clorofluorcarbonados y los COV'S (compuestos orgánicos volátiles), además de los óxidos de nitrógeno genéricos. Estas sustancias están caracterizadas por su bajo punto de ebullición y presión de vapor mínima. Su génesis es variable: antropogénica, biogénica y en procesos naturales de tipo volcánico, marinos, pantanosos, etc. Estos últimos son cuantitativamente más importantes en proporciones entre 4-9 veces las antrópicas.

Todos ellos se generan en actividades antrópicas, como son los procesos que conllevan la quema de combustibles fósiles, carbón, petróleo, etc., en las industrias, centrales térmicas (independientemente del tipo de combustible que utilicen), de las incineradoras de residuos sólidos urbanos, o de los generados en los transportes aéreos, terrestres o marítimos.

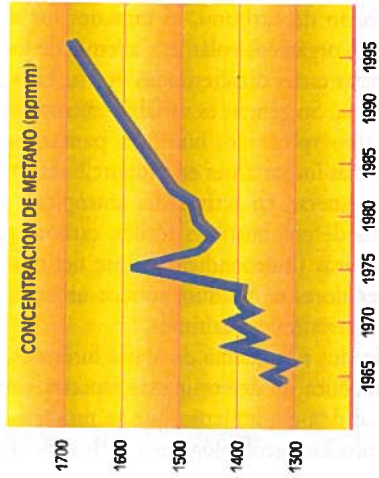
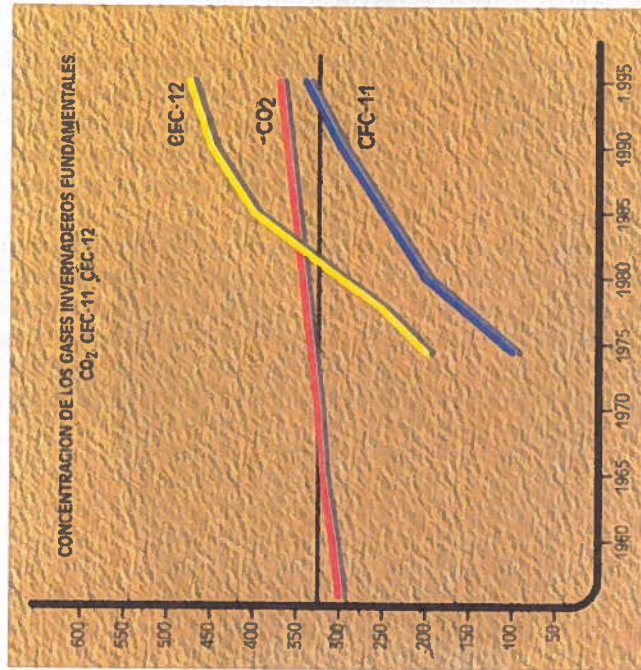
Otros están ligados a la quema de masas forestales, como el metano, a la propia actividad metabólica de determinadas especies, caso de los rumiantes, de las hormigas, etc., o al desprendimiento que se produce por la actividad bacteriana anaeróbica en los procesos geobiológicos y en la actividad ganadera.

Consecuencias ambientales del efecto invernadero

Todos estos gases contribuyen, en más o menos proporción, al llamado calentamiento global de las capas bajas de la Atmósfera, o lo que es lo mismo, el efecto invernadero inducido. El problema que se le plantea a la comunidad científica es la cuantificación exacta de la incidencia en el calentamiento global, así como las posibles interacciones que pueden tener en el efecto otros gases generados por otros mecanismos.

Así se sabe, por ejemplo, que los aerosoles sulfatados contrarrestan parte de ese efecto invernadero, al absorber y reflejar las radiaciones provenientes del Sol y de la Tierra, respectivamente. Esos aerosoles se producen en algunos procesos industriales, en la actividad orgánica del fitoplancton, o es inyectado a la Atmósfera por los procesos volcánicos, como ocurrió con el volcán Pinatubo en 1991. Sin embargo, los aerosoles sulfatados tienen capital importancia ambiental en los procesos asociados con la lluvia ácida.

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE LOS GASES INVERNADERO



Variación de la concentración de los gases invernadero

transparencia 24

Variación de la concentración de los gases invernadero

Como puede verse en los gráficos que representan las variaciones de concentración de los principales gases del efecto invernadero, CO₂, CFC-11, CFC-12 y Metano (CH₄), éstas han ido creciendo con el tiempo en todos los casos.

En algunos, como ocurre con el CO₂ y Metano (CH₄), cuyos valores han permanecido más o menos estables, o con ligeras fluctuaciones hasta los años sesenta, sus porcentajes se han disparado desde entonces, en otro cuya presencia es testimonial, de ahí que las gráficas arranquen desde valores de concentración prácticamente nulos, al estar fuera de las concentraciones naturales atmosféricas, se incrementan únicamente gracias a la acción antrópica. En el caso del metano, las principales fuentes por orden de importancia son:

- Fermentación intestinal
- Cultivo de arroz
- Combustión de Biomasa
- Emisión de lagos y pantanos
- Combustión de carbones
- Combustión de gas natural
- Emisiones oceánicas
- Automoción
- Combustión de lignitos

y que tienen como sumideros (pérdidas). Pérdidas por reacción con OH:

- Flujo a la Estratosfera
- Pérdidas por reacción con NO
- Fijación por microorganismos
- Pérdidas por reacción con oxígeno

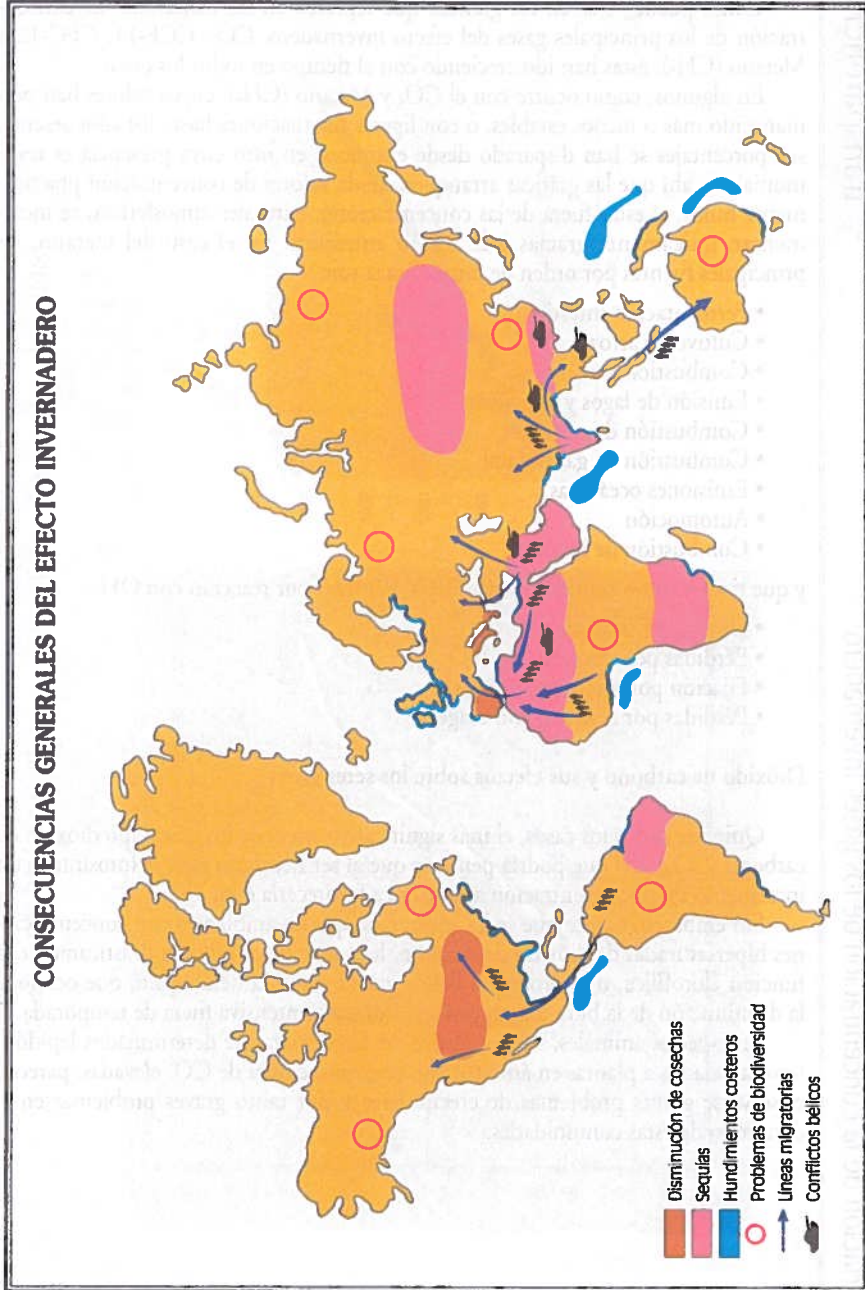
Dióxido de carbono y sus efectos sobre los seres vivos

Quizá de todos los casos, el más significativo sea el de los gases tipo dióxido de carbono (CO₂), del que podría pensarse que al ser necesario para la fotosíntesis un incremento de su concentración atmosférica favorecería ésta.

Sin embargo, parece que se ha constatado que en ambientes con concentraciones hipersaturadas de dióxido de carbono, los vegetales, o inhiben drásticamente la función clorofílica, o se producen daños graves como la defoliación, que ocasiona la disminución de la biomasa vegetal y la floración intensiva fuera de temporada.

En especies animales, sobre todo en las fases orugas de determinados lepidópteros asociados a plantas en ámbitos con concentraciones de CO₂ elevadas, parecen observarse graves problemas de crecimiento y por tanto graves problemas en el desarrollo de estas comunidades.

CONSECUENCIAS GENERALES DEL EFECTO INVERNADERO



Consecuencias generales del efecto invernadero

transparencia 25

Consecuencias generales del efecto invernadero

La consecuencia más importante del efecto invernadero es la del aumento de la temperatura media del planeta, independientemente de la compensación natural y antrópica de ese incremento –producida por los aportes de gases sulfurosos (SO_2), de la combustión de los combustibles fósiles y de los gases aportados por las erupciones volcánicas, cuyos aerosoles absorben, dispersan y reflejan la radiación solar– disminuyendo el calentamiento global.

Efectos ambientales del calentamiento global

Los efectos ambientales del incremento de la temperatura media del planeta son múltiples con repercusiones en cadena. Al ser la temperatura la reguladora del volumen de hielo en los polos, su aumento provocaría la fusión de los casquetes glaciares, aumentando el volumen de agua en los océanos. Esto conlleva otras consecuencias, de tipo:

- Climáticas, que producirán variaciones en los regímenes de circulación de los vientos, y de las corrientes marinas, distribución anómala de las precipitaciones, cambiando el tiempo atmosférico del planeta.
- Desertización, por incremento súbito de las precipitaciones en regiones donde no eran habituales y convertirse éstas por tanto en un agente erosivo de primer orden.
- Eliminación de suelos, lo que lleva implícito la pérdida de su productividad.
- Deforestación.

Las consecuencias Biológicas pueden ser: la desaparición de los arrecifes de algunos océanos, al no poder compensarse la evolución lógica de la colonia, con el incremento súbito del nivel del mar. La biodiversidad asociada al arrecife, y la biodiversidad del planeta se vería resentida por inundación de los ecosistemas. En el capítulo de consecuencias geológicas hay que apuntar, la anegación de los deltas (que como se sabe son ecosistemas muy diversos), los movimientos eustáticos, con incidencia en la modificación del nivel de base de los ríos y por tanto de sus regímenes erosivos y de sedimentación. O la salinización de los acuíferos.

Las consecuencias Sociales son múltiples, quizá la más llamativa sea la desaparición de algunos estados con topografías bajas (Islas Maldivas, Bangladesh). Es indudable que las consecuencias apuntadas antes incrementarían las migraciones hacia lugares más ricos que puedan alimentar a la población afectada, con lo que la tensión internacional en el llamado eje Norte-Sur se incrementará.

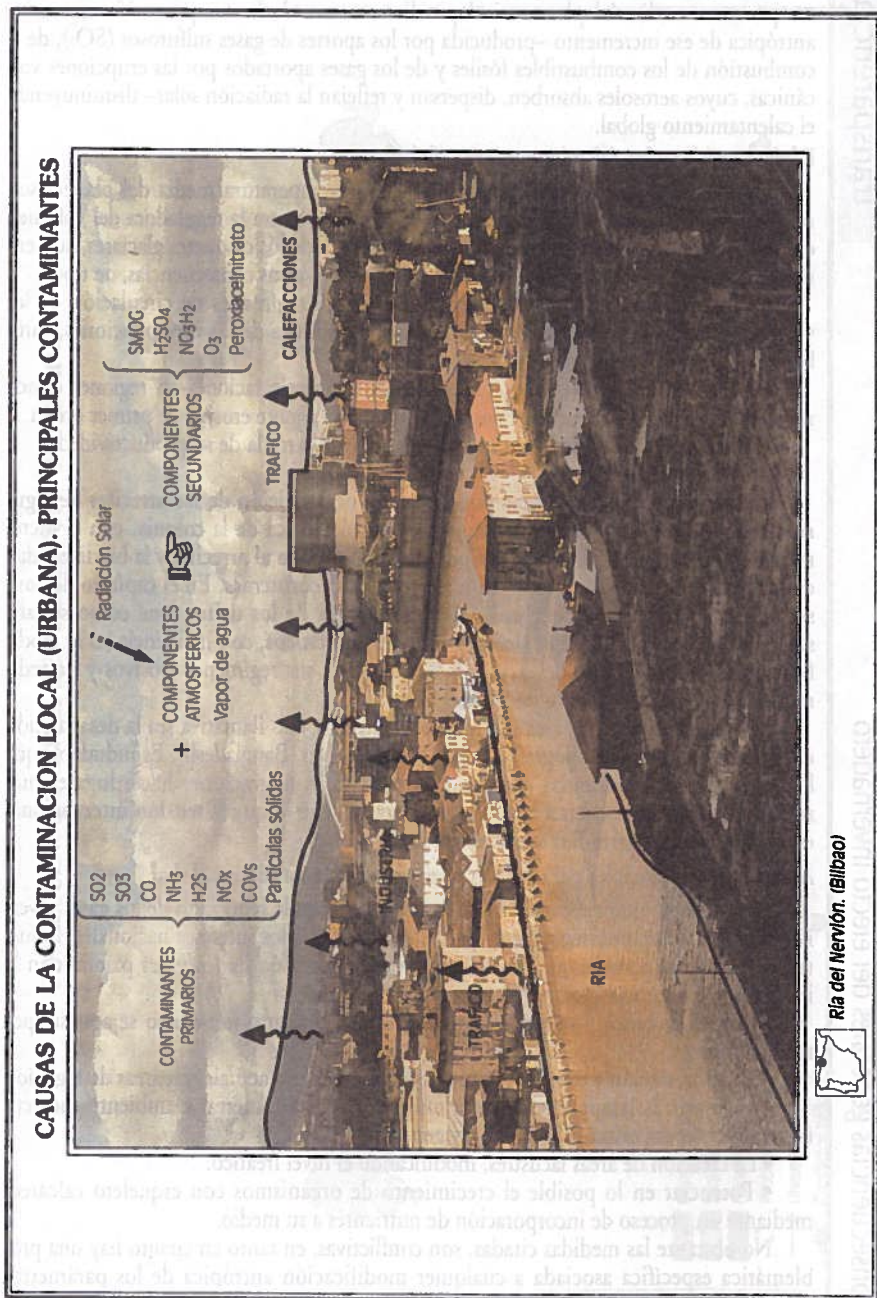
Actuaciones potenciales para reducir el riesgo de calentamiento global

Es indudable que debe alcanzarse un consenso para la reducción de los gases invernadero. El acuerdo político en este sentido lucha contra los intereses nacionales, industriales, etc., al suponerse que las reducciones de la emisión de los gases paralizarían la industria y por tanto el desarrollo.

Mientras se busca y se alcanza un acuerdo en el futuro inmediato se apuesta por medidas como:

- La reforestación y transformación de áreas desérticas actuales en áreas de regadío.
- Favorecer la incorporación de la materia orgánica (muerta) a ambiente anóxicos (sin oxígeno) para evitar su oxidación y generación de CO_2 .
- La creación de áreas lacustres, modificando el nivel freático.
- Potenciar en lo posible el crecimiento de organismos con esqueleto calcáreo, mediante un proceso de incorporación de nutrientes a su medio.

No obstante las medidas citadas, son conflictivas, en tanto en cuanto hay una problemática específica asociada a cualquier modificación antrópica de los parámetros naturales de cualquier medio.



Contaminación atmosférica local

El aire puede considerarse como un recurso natural, renovable, constituido por una mezcla de gases con composición constante, en los porcentajes ya vistos. No obstante, desde la aparición del hombre sobre la Tierra y sobre todo en los últimos doscientos años la composición del aire ha variado profundamente por acción de sus actividades, hablándose de contaminación atmosférica, que puede ser general cuando afecta a un área amplia, o urbana cuando se da en una gran población.

Concepto de contaminación

Debemos entender por contaminación la «presencia en el aire de gases, materia o fuente de energía con génesis natural, o antrópica, que conlleva riesgos para personas, animales, plantas o al patrimonio artístico-cultural». Indudablemente, puede ampliarse el concepto a la producción de contaminantes naturales, generados, por ejemplo, en incendios forestales naturales y en erupciones volcánicas, aunque lo normal es aplicar el concepto de contaminación cuando ésta es debida a actividades y agentes generados por el hombre.

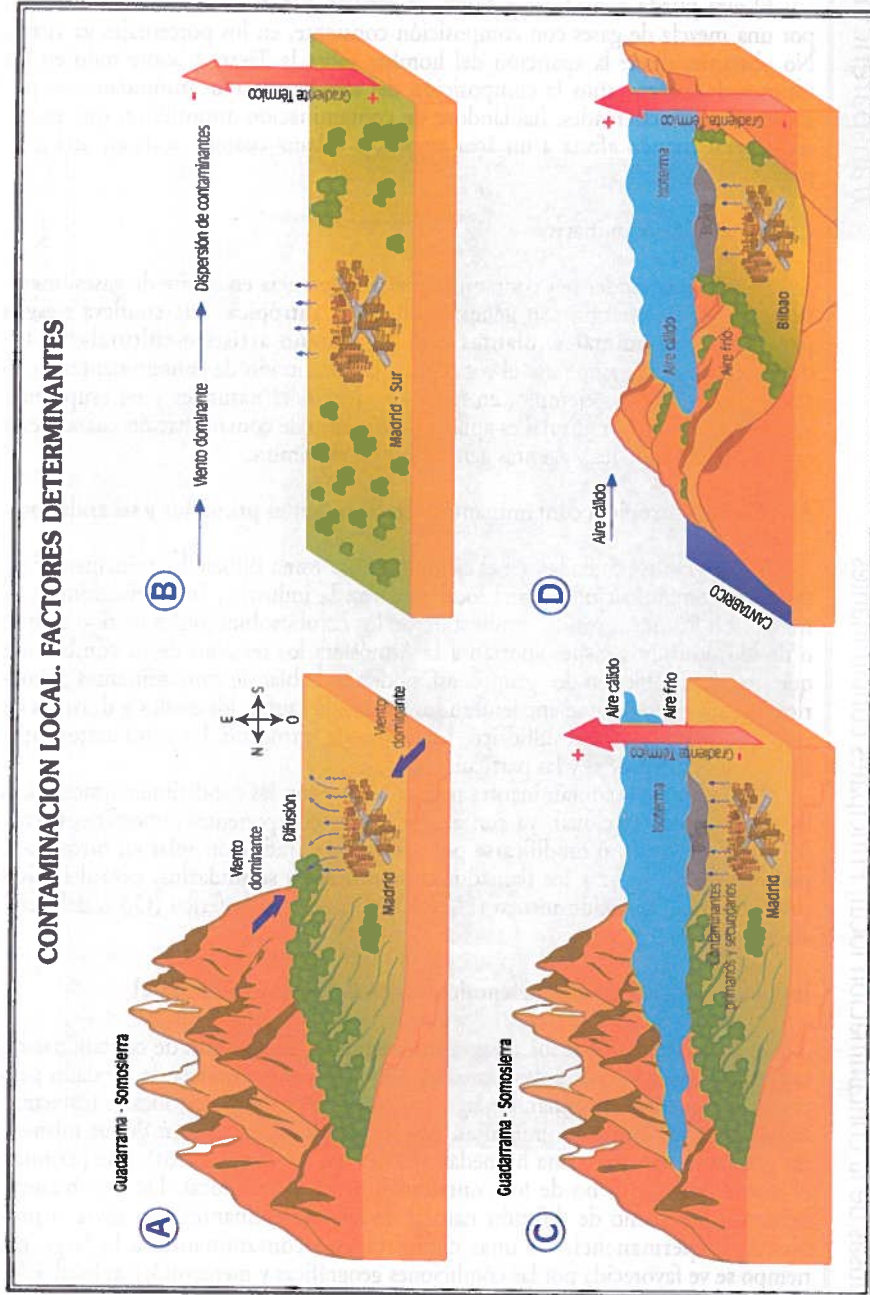
Actividades antrópicas contaminantes. Contaminantes primarios y secundarios

En las grandes ciudades, en el ejemplo que se toma Bilbao, las principales causas de la contaminación urbana local son tres: la industria, las calefacciones y el tráfico. En los tres casos, la combustión de los combustibles fósiles de tipo carbón o de hidrocarburos fósiles aportan a la Atmósfera los residuos de su combustión que son clasificables en dos grupos: así, podemos hablar de **contaminantes primarios**, dentro de los que se encuentran los óxidos de azufre, los óxidos y dióxidos de carbono, el amoníaco, el sulfídrico, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y las partículas sólidas.

Ahora bien, los contaminantes primarios, y según las condiciones atmosféricas locales, pueden reaccionar, ya con alguno de los componentes atmosféricos (caso del vapor de agua), o modificarse por acción de la radiación solar en otros compuestos, dando lugar a los llamados **contaminantes secundarios**, caso del ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido nítrico (H₂NO₃), el ozono troposférico (O₃) o del peroxiacelnitrato.

Influencia de los aspectos meteorológicos en la contaminación local

Es lógico pensar que los riesgos anunciados en el concepto de contaminación expresado arriba y entendido como la posibilidad de ocurrencia de un daño para personas o medio, dependen de las condiciones meteorológicas locales (caracterizadas por unos vientos dominantes, una dirección de evacuación de los mismos, un gradiente térmico y una humedad relativa del aire, entre otros), que permitan el mantenimiento o no de los contaminantes en el área local. De otra manera, existe un fenómeno de difusión natural de los contaminantes que alivia el problema. La permanencia de unas circunstancias contaminantes a lo largo del tiempo se ve favorecida por las condiciones geográficas y meteorológicas locales.



Factores determinantes de la contaminación local

La contaminación local de tipo antrópico y sobre todo la concentrada en los núcleos urbanos (que casualmente agrupan a la mayor parte de la población mundial) dependen de varios factores:

- Atmosféricos.
- Climáticos y...
- Topográficos.

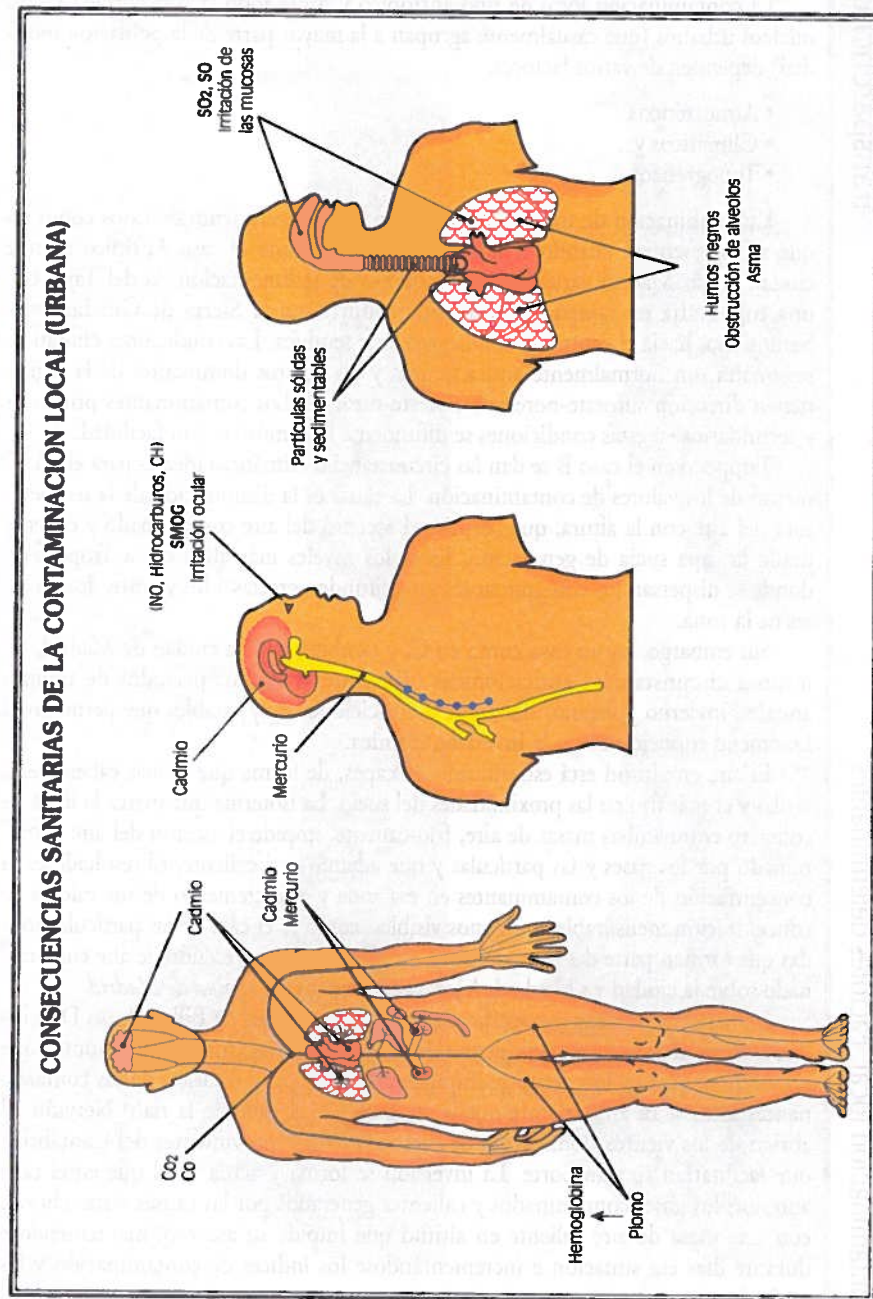
La combinación de todos ellos permiten el establecimiento de casos como los que se representan: cuando se dan circunstancias como el caso A, típico de una ciudad como Madrid, situada en una cuenca de sedimentación, la del Tajo, con una topografía en rampa desde su límite norte, en la Sierra de Guadarrama-Somosierra, hacia el centro de la misma donde se ubica. Las condiciones climáticas regionales son normalmente anticiclónicas y los vientos dominantes de la región tienen dirección suroeste-noreste y noreste-suroeste. Los contaminantes primarios y secundarios en estas condiciones se difunden a la Atmósfera con facilidad.

Tampoco en el caso B se dan las circunstancias climáticas ideales para el incremento de los valores de contaminación. La causa es la disminución de la temperatura del aire con la altura, que permite el ascenso del aire contaminado y caliente desde la capa sucia de generación, hasta los niveles más altos de la Troposfera, donde se dispersan los contaminantes y se difunden gracias a los vientos dominantes de la zona.

Sin embargo, en un caso como en C, y también para la ciudad de Madrid, las mismas circunstancias anticiclónicas (distribuidas en dos periodos de tiempo anuales, invierno y verano) dan lugar a anticiclones muy estables que permiten el fenómeno conocido como la **inversión térmica**.

El aire en altitud está estratificado en capas, de forma que el más caliente está arriba y el más frío en las proximidades del suelo. La isoterma que marca la línea de contacto entre ambas masas de aire, frío-caliente, impide el ascenso del aire contaminado por los gases y las partículas y que además está caliente. El resultado es la concentración de los contaminantes en esa zona y el incremento de sus valores de concentración mensurables y algunos visibles, como es el caso de las partículas sólidas que forman parte del llamado *smog*, etc. Se formará un escudo de aire contaminado sobre la ciudad visible desde lejos, popularmente la *«boina de Madrid»*.

En otras situaciones topográficas como las que se dan en Bilbao (caso D), ciudad industrial situada en una depresión tectónica (fosa), rodeada de montes que hacen de pantalla a los vientos e impiden la dispersión y difusión de los contaminantes locales. El aire caliente queda atrapado en el valle de la ría/o Nervión, al abrigo de los vientos dominantes de dirección Norte provenientes del Cantábrico que facilitarían su transporte. La inversión se forma y actúa igual que en el caso anterior; los gases contaminados y calientes generados por las causas vistas chocan con una masa de aire caliente en altitud que impide su ascenso, manteniéndose durante días esa situación e incrementándose los índices de contaminación y las molestias.



Efectos de la contaminación local sobre la salud

La contaminación atmosférica local (urbana), cuando supera determinados índices, valores mínimos de toxicidad, afectan a la salud humana de diversas formas y de manera específica por cada tipo de contaminante. Así, independientemente de la acción lenta en ambientes contaminados, la acción de los contaminantes puede ser **puntual e intensa** o a **muy largo plazo**, cuando se manifiestan los problemas de salud por los contaminantes acumulados y no metabolizados.

Influencia de los contaminantes sobre los diversos aparatos

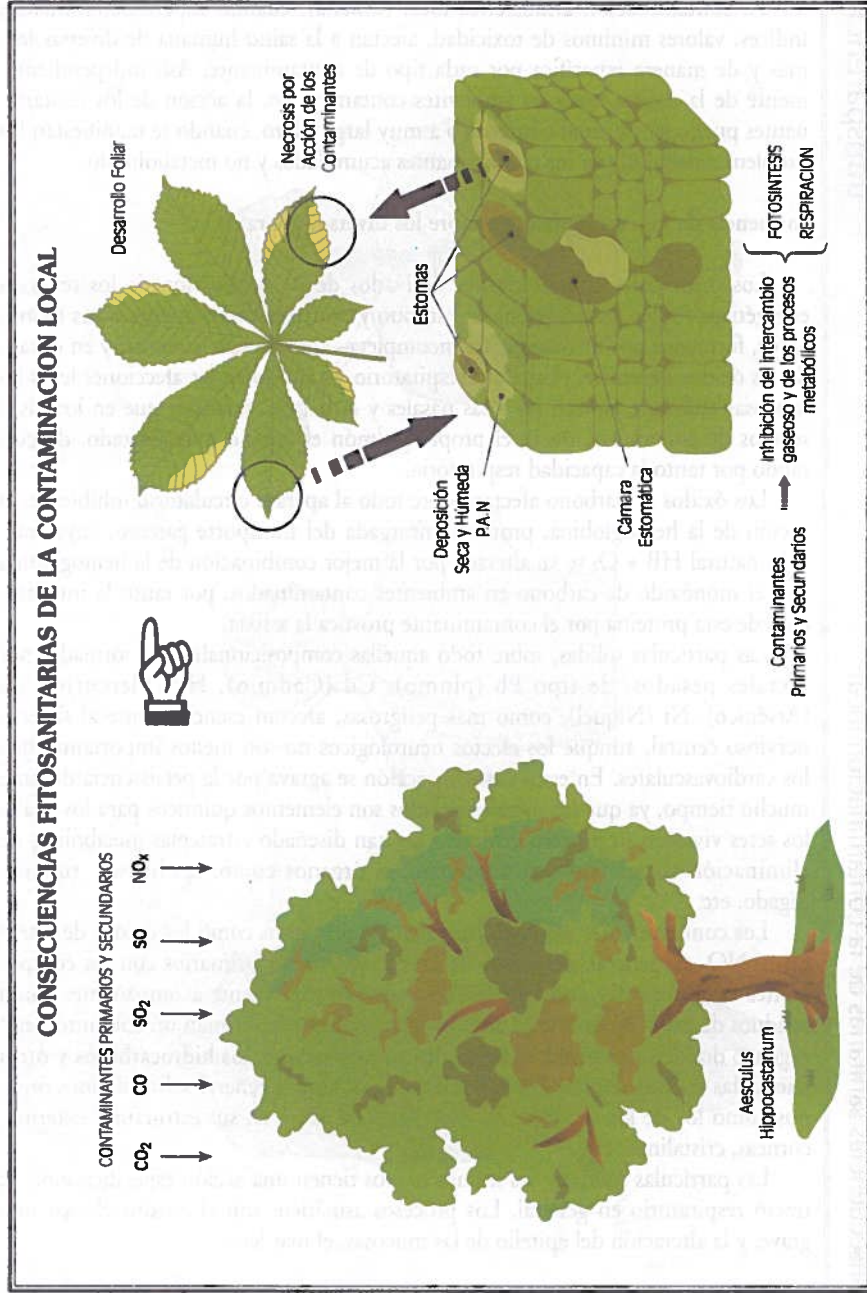
Los principales contaminantes derivados de la combustión de los recursos energéticos fósiles –los dióxidos de carbono y azufre respectivamente o sus monóxidos, formados por una oxidación incompleta– atacan esencialmente, y en el caso de los óxidos de azufre, el aparato respiratorio, irritando en las afecciones leves las mucosas altas que tapizan las fosas nasales y la faringe, mientras que en los casos severos de contaminación es el propio pulmón el órgano más afectado, dificultando por tanto la capacidad respiratoria.

Los óxidos de carbono afectan sobre todo al aparato circulatorio inhibiendo la acción de la hemoglobina, proteína encargada del transporte gaseoso, cuya reacción natural $HB + O_2$ se ve alterada por la mejor combinación de la hemoglobina con el monóxido de carbono en ambientes contaminados, por tanto la inutilización de esta proteína por el contaminante provoca la asfixia.

Las partículas sólidas, sobre todo aquellas composicionalmente formadas por metales pesados, de tipo Pb (plomo), Cd (Cadmio), Hg (Mercurio), As (Arsénico), Ni (Níquel), como más peligrosas, afectan esencialmente al sistema nervioso central, aunque los efectos neurológicos no son menos importantes que los cardiovasculares. En estos casos, la acción se agrava por la persistencia durante mucho tiempo, ya que los metales pesados son elementos químicos para los cuales los seres vivos en su proceso evolutivo no han diseñado estrategias metabólicas de eliminación y, por tanto, se acumulan en órganos como: los huesos, riñones, hígado, etc.

Los contaminantes secundarios y algunos primarios como los óxidos de nitrógeno, NO_x, en general, derivados de la reacción de los primarios con los componentes atmosféricos y con la radiación solar, o simplemente acompañantes como residuos de los combustibles o de la propia combustión, forman un conjunto heterogéneo donde se incluyen, el smog, los humos negros, los hidrocarburos y otras partículas sedimentables. Esta mezcla actúa de forma general sobre algunos órganos como los de los sentidos: los ojos, especialmente en sus estructuras externas, córneas, cristalinos, etc.

Las partículas sólidas y los humos negros tienen una acción específica sobre el tracto respiratorio en general. Los procesos asmáticos son el cuadro clínico más grave, y la alteración del epitelio de las mucosas, el más leve.



Consecuencias fitosanitarias de la contaminación local

transparencia 29

Efecto de la contaminación sobre los vegetales

Si sobre los seres humanos y por extrapolación al resto de los animales los efectos de la contaminación provocan enfermedades y cuadros clínicos de diversa gravedad, sobre los vegetales ocurre algo similar.

Los productos derivados de la oxidación del carbono, óxido y monóxido de carbono, a priori, al ser éstos los materiales base de los procesos fotosintéticos, se pensaba que un incremento de las concentraciones de CO₂ aumentaría la producción de biomasa vegetal. Sin embargo, los experimentos realizados con vegetales en atmósfera de alta concentración de dióxido de carbono no parecen afectar positivamente la función clorofílica, sino más bien todo lo contrario, la **inhibición de la misma**.

Los derivados de la oxidación del azufre actúan sobre las diversas especies vegetales, produciendo por contacto y por acumulación interna la **necrosis de diversas estructuras**, como las hojas, que de alguna manera repercute sobre los procesos metabólicos vegetales. Así, la necrosis de la superficie foliar disminuye la capacidad de absorción de las hojas, y por consiguiente la **disminución del metabolismo vegetal**.

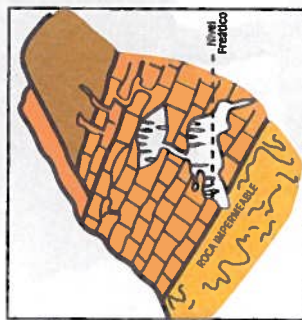
Los contaminantes primarios, del tipo NO_x, como el óxido nítrico y su monóxido, también actúan sobre los vegetales, inhibiendo la fotosíntesis. Sus derivados en reacción química con los hidrocarburos, los PAN (los nitratos peroxoácido), atacan las **células estomáticas**, situadas en la epidermis de las hojas, impidiendo el **intercambio gaseoso** del CO₂ hacia el interior y del O₂ al exterior a través de los estomas y por tanto afectan también a los procesos metabólicos básicos de los vegetales, la fotosíntesis y respiración esencialmente.

A veces, los depósitos secundarios de los residuos de la combustión reaccionan tanto por vía seca como por vía húmeda, acumulándose sobre las superficies foliares y en la propia cámara estomática. La acumulación dificulta, en este caso de forma mecánica, no química, el intercambio gaseoso necesario en la fotosíntesis.

ALTERACION DEL PATRIMONIO HISTORICO-ARTISTICO. MONUMENTOS CALIZOS



Mal de la piedra
 Meteorización
 química
 en calizas



Alteración del patrimonio histórico-artístico. Monumentos calizos

transparencia 30

Aspectos sociales de la contaminación atmosférica. Alteración del patrimonio histórico-artístico

El hombre, durante su proceso evolutivo, ha alcanzado un nivel de inteligencia y de percepción del medio que le permite actuar de diversas maneras y formas sobre su entorno. Una de sus capacidades positivas es la de crear arte, diseñar monumentos, delimitar espacios arquitectónicos para ser habitados o con cualquier otro fin. Una interacción-hombre medio de este tipo, altamente favorable, le ha permitido dejar un legado patrimonial y cultural muy importante para goce y disfrute de las generaciones actuales y futuras.

Para la realización de sus obras ha necesitado siempre materiales, unos esencialmente geológicos: rocas de construcción, rocas ornamentales, metales para construcción, hierro, aluminio, piedras preciosas; otros de origen biológico, como la madera, el papel, etc.

En el primer caso, una de las rocas más utilizadas son las calizas. Las calizas son rocas con una composición química de carbonato cálcico (CaCO_3), que se altera en la naturaleza, dependiendo lógicamente de las condiciones atmosféricas mediante un proceso de meteorización física (en climas fríos por gelifracción), o química de tipo carbonatación. En este caso, los factores físicos como la presión (alta) y la temperatura (baja) favorecen la disolución. Es lógico suponer que en un monumento construido con calizas y en un ambiente no contaminado, sufrirá un proceso de alteración similar al natural que se dilatará en el tiempo.

Pero al hombre, además de tener esta faceta creativa-artística, hay que imputarle la incidencia negativa que sobre el medio ejerce, contaminando intensamente y de diversas formas éste. Una de ellas es la contaminación atmosférica general y el proceso de lluvia ácida en particular. En éste se generan mediante procesos químico-atmosféricos, ácidos sulfúricos y nítricos, que inciden sobre las rocas monumentales calcáreas formando yesos, solubles en el agua de lluvia. Este proceso se denomina «mal de la piedra».

Si el monumento está situado en ambientes salinos, donde hay cationes Na^+ , aportados por la proximidad del mar, se pueden formar compuestos salinos aún más corrosivos como son los sulfatos. El volumen molecular de los sulfatos formados es mayor que los de los carbonatos de las rocas, por tanto además de las acciones químicas se introducen tensiones laterales que pueden fragmentar las rocas, alterándose en este caso de forma mecánica por un proceso semejante a la «acción de cuña».

Procesos similares se dan en otros materiales utilizados en la construcción, como la madera, cuya lignina interactúa con el SO_2 de la contaminación atmosférica; el papel, donde las moléculas orgánicas que lo forman se hidrolizan; o los frescos de la decoración, realizados con pigmentos naturales; los metales de la construcción, etc.

Teniendo en cuenta lo dicho, el patrimonio histórico-artístico debe ser utilizado racionalmente de forma sincrónica (por las generaciones actuales), con prevención y cuidado para permitir su admiración y disfrute diacrónico (de las generaciones venideras). Deben tenerse en cuenta medidas multivariables para detener la destrucción intensa y ultrarrápida de este patrimonio.

ALTERACION DEL PATRIMONIO HISTORICO-ARTISTICO POR LA CONTAMINACION LOCAL



Alteración del patrimonio histórico-artístico por la contaminación local

transparencia 31

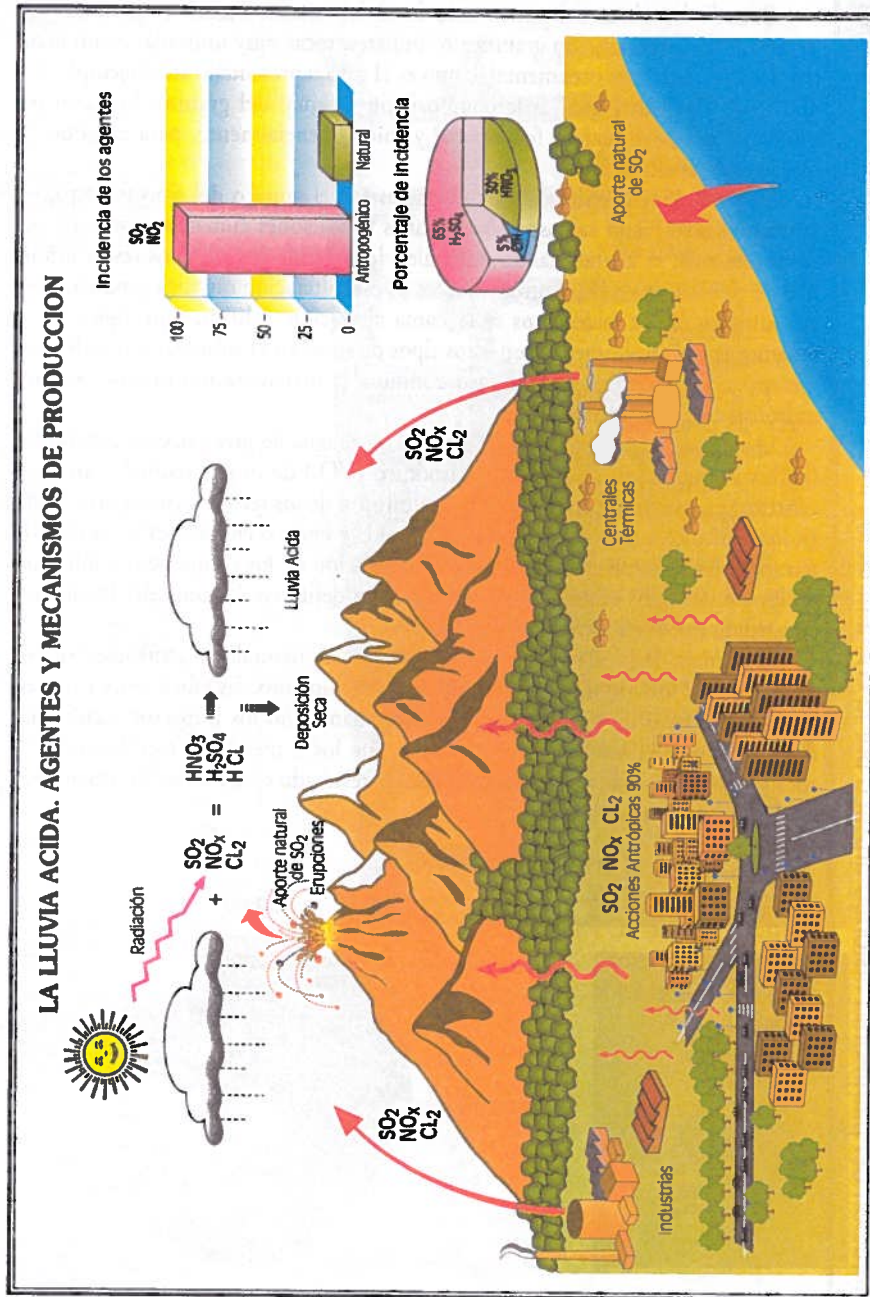
Alteración del patrimonio histórico-artístico

Cuando las obras del patrimonio histórico-artístico están construidas con rocas con una composición granítica o similares, rocas muy utilizadas como material de construcción y ornamental, como es el caso representado en el ejemplo; hay que tener en cuenta cuál es la composición original del granito, formado por minerales del tipo cuarzo, feldespatos y micas esencialmente, para entender su mecanismo de alteración.

De una manera natural, los componentes del granito del tipo feldespático, tanto potásicos como calcosódicos, en unas condiciones climáticas como las que rigen este país, se alteran dando minerales de la arcilla con algunos restos insolubles de tipo cuarzo SiO_2 , y otros solubles. A esta alteración química producida por la hidrólisis de los feldespatos se le llama alteración sialítica, muy típica en las regiones templado-húmedas con estos tipos de rocas en el subsuelo. En realidad la meteorización química en este caso combina la meteorización química de tipo hidrólisis con una carbonatación.

El agua disociada (H^+ , OH^-) y disuelta en el agua de precipitación atmosférica (la lluvia), junto con el anhídrido carbónico (CO_2) de origen natural y antropocéntrico; este último formado por la combustión de los recursos energéticos fósiles en los vehículos a motor, en la industria pesada y ligera o en las calefacciones urbanas; permiten las reacciones químicas de alteración de los componentes minerales de las rocas, según el modelo propuesto, y en definitiva la ruina del Patrimonio construido con estas rocas.

Si además de la alteración química por causas naturales y artificiales, se permite la aproximación directa motorizada al monumento, las vibraciones del suelo asociadas al paso de los vehículos pesados, cuando no los impactos accidentales directos contra el monumento, provocan que los minerales componentes de la roca salten del espacio que ocupan en ella. El resultado es la alteración progresiva y en definitiva la ruina de la obra.



La lluvia ácida. Agentes y mecanismos de producción

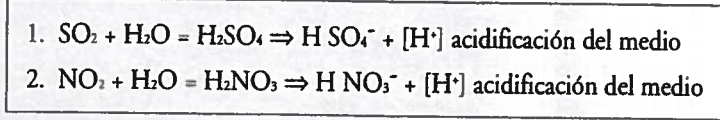
transparencia 32

Concepto de lluvia ácida. Agentes, origen y mecanismos de formación

Se entiende por lluvia ácida: «la precipitación sobre los sistemas ambientales terrestres de los contaminantes secundarios de composición azufrada, nitrogenada o clorurada, que disueltos en agua, como partículas sólidas o gases en deposición seca, tienen un pH menor de 5,6». El valor pH 5,6 es el del pH resultante de la acidificación natural de las aguas al disolverse en ellas, el ácido carbónico (H₂CO₃) formado por la reacción natural del CO₂ atmosférico y el agua de precipitación química CO₂ + H₂O ⇒ H₂CO₃ y disociarse después según H₂CO₃ ⇒ HCO₃⁻ + H⁺. Los agentes que participan en la génesis de lluvia ácida son los óxidos de azufre y nitrógeno, así como los halogenuros. El origen de estos aportes son:

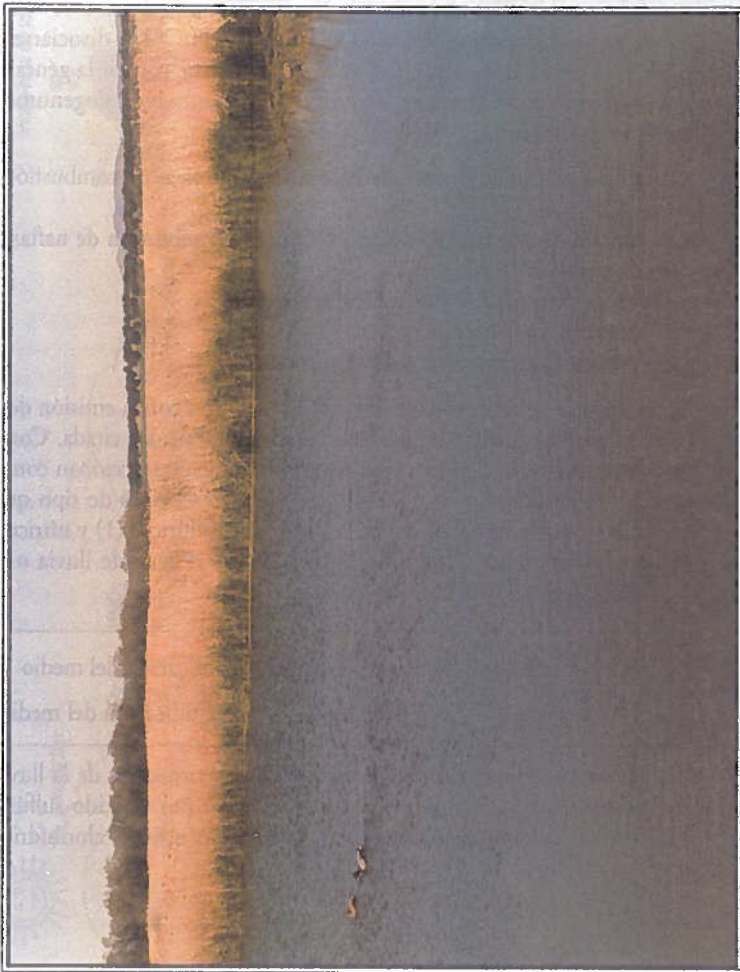
- La acción antrópica a través de las centrales térmicas de combustión de carbón y fuel-oil.
- La contaminación urbana de tipo NO por la combustión de naftas en calefacciones domésticas.
- El transporte asociado a los vehículos a motor.
- La industria ligera y pesada.
- Los procesos naturales asociados a vulcanismo.

El mecanismo de formación de lluvia ácida se inicia con la emisión de los residuos a la Atmósfera postcombustión bajo la forma de óxidos citada. Constituyen los llamados contaminantes primarios, que posteriormente reaccionan con el vapor de agua de la Atmósfera o con la radiación solar (reacciones de tipo químico y fotoquímico) que concluyen en la síntesis de ácidos sulfúricos (1) y nítrico (2) que precipitan posteriormente disueltos y disociados en el agua de lluvia o nieve, o bajo la forma sólida, en la deposición seca.



Del conjunto de los principales contaminantes secundarios de la lluvia ácida, el principal porcentaje corresponde con el producido por el ácido sulfúrico, con 65% del total, el ácido nítrico contribuye con el 30% y el ácido clorhídrico el 5% restante.

CONSECUENCIAS DE LA LLUVIA ACIDA SOBRE LAS AGUAS CONTINENTALES



Lago sobre sustrato alcalino

Lago sobre sustrato rocoso ácido

transparencia 33

Consecuencias de la lluvia ácida sobre las aguas continentales

Acción de la lluvia ácida sobre los ecosistemas acuáticos

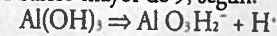
La lluvia ácida cuando precipita sobre un medio acuático continental, del tipo lacustre, fluvial, etc., no provoca directamente la mortalidad de los organismos que pueblan el ecosistema en cuestión, sino que la acción se retarda en el tiempo y es debida a las reacciones químicas que facilitan la acidificación del agua.

Importancia del sustrato en la acidificación del medio

El sustrato rocoso, sobre el que se desarrolla el medio acuático influye sobremanera en la evolución del ecosistema en presencia de contaminantes por lluvia ácida. Si el sustrato es de una composición ácida (rocas con un porcentaje de SiO₂ mayor del 66%), como en el esquema dibujado a la izquierda de la transparencia, el lago que pueda desarrollarse sobre un sustrato como el descrito debe tener aguas con una acidez natural, derivada de su composición e incrementada por el aporte de iones hidrógeno de la lluvia ácida (H⁺).

En estas condiciones químicas se favorece la disolución y la concentración de los metales pesados en el agua. Así, el ión Al³⁺, que está fijado en los grupos Al(OH)₃, cuando los valores de pH están entre 4 y 9, se libera de las rocas cuando el pH de la solución acuosa (favorecido por la lluvia ácida) desciende por debajo de 4, comportándose químicamente como si de una base se tratara: Al(OH)₃ ⇒ Al³⁺ + 3 OH⁻.

Su comportamiento químico como ácido se produce en concentraciones con un pH básico mayor de 9, según:



Cuando el sustrato está constituido por rocas básicas, que aportan iones alcalinos al agua, la precipitación de lluvia ácida que cae en el lago, se ve neutralizada por los iones alcalinos, actuando de solución tampón, que deja los valores del pH del agua dentro de los valores naturales. En estas condiciones los contaminantes considerados, los metales pesados, del tipo: Hg, Cd, Pb reaccionan con el oxígeno disuelto en el agua precipitándose como óxidos en el fondo del lago e inactivándose desde el punto de vista medioambiental, sin alterar el medio.

Consecuencias de la acidificación de lagos para la fauna lacustre

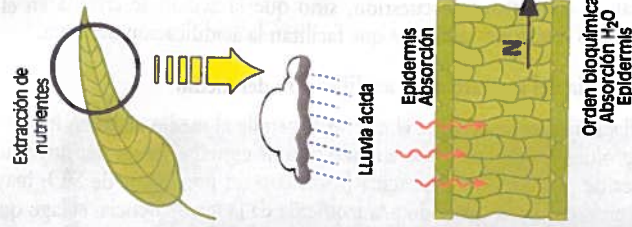
Si la contaminación por metales pesados, que ha podido llegar al lago por diferentes vías, se encuentra con un pH ácido, favorecido por la lluvia ácida como se ha visto, aquéllos permanecen activos en el medio realizando diversas acciones nocivas:

- **Fijación en las branquias de los peces.** La inutilización de estos tejidos provoca la asfixia del organismo, al reducir la capacidad de captación de oxígeno.
- **Concentración en los riñones.** Al carecer los organismos de estrategias metabólicas para estos elementos.
- **Reacciones químicas con el nitrógeno del medio.** Los metales pesados pueden reaccionar con el nitrógeno del medio, reduciendo su concentración. Al ser el nitrógeno un elemento vital para los seres vivos, ya que interviene en la síntesis de sus proteínas, la desnaturalización de las mismas impide su función. El resultado final es la alteración de la cadena alimenticia del ecosistema y en definitiva su desaparición.
- **Otras veces la acidificación actúa directamente.** Interfiere en la química de algunos iones necesarios para los seres vivos, como es el calcio. En medios con pH bajo, el calcio se elimina de las estructuras óseas (espinas de los peces), debilitándolos y matándolos, así como de las estructuras de protección embrionaria, caso de los huevos, malogrando la producción de alevines.

INCIDENCIA DE LA ACIDIFICACION POR LLUVIA ACIDA EN ECOSISTEMAS TERRESTRES



Bosque de eucaliptus. (La Coruña)



Incidencia de la acidificación por lluvia ácida en ecosistemas terrestres

transparencia 34

La incidencia que la lluvia ácida tiene sobre los ecosistemas terrestres es variable. Las acciones se concentran: sobre el suelo, soporte de la vegetación; sobre los componentes del suelo, sobre los bosques que se desarrollan en el suelo, etc. Todas estas acciones repercuten tanto en la calidad ambiental, como en las circunstancias de tipo económico-social derivadas.

Acidificación del suelo

El suelo es un sistema generado por la actuación conjunta de factores litológicos, biológicos, climáticos, temporales, etc. Es un recurso no renovable, por tanto su pérdida a escala humana es irreparable. El suelo se estructura en capas u horizontes, A, B, C, donde predominan respectivamente la materia orgánica, la materia mineral y la roca alterada y fresca. Todas ellas constituidas por los iones y elementos químicos, que sirven de nutrientes a la vegetación que se instala en él, como el Na^+ , Ca^{++} o Mg^{++} .

Cuando el suelo, se contamina por la lluvia ácida, incrementa su acidez. La actividad orgánica se realiza entre valores de pH comprendidos entre 4 y 6, un límite reducido. Con pH mayores de 4, se liberan los iones pesados contenidos en las rocas, como el Al^{3+} del hidróxido de aluminio, $\text{Al}(\text{OH})_3$, que entra en competición con los iones Ca^{++} , eliminándolos del medio.

Acción sobre los organismos vivos del suelo y su incidencia ecológica

La acidificación del suelo actúa sobre los tipos de organismos que favorecen la incorporación de elementos al metabolismo vegetal, las bacterias nitrificantes, organismos transformadores, y los hongos micorrizas, simbioses con las raíces vegetales, a las que ayudan en la absorción de nutrientes y agua. La muerte de estos microorganismos por los ácidos sulfúrico y nítrico de la lluvia ácida dificulta el posterior, o interrumpe el actual, desarrollo vegetal de la zona.

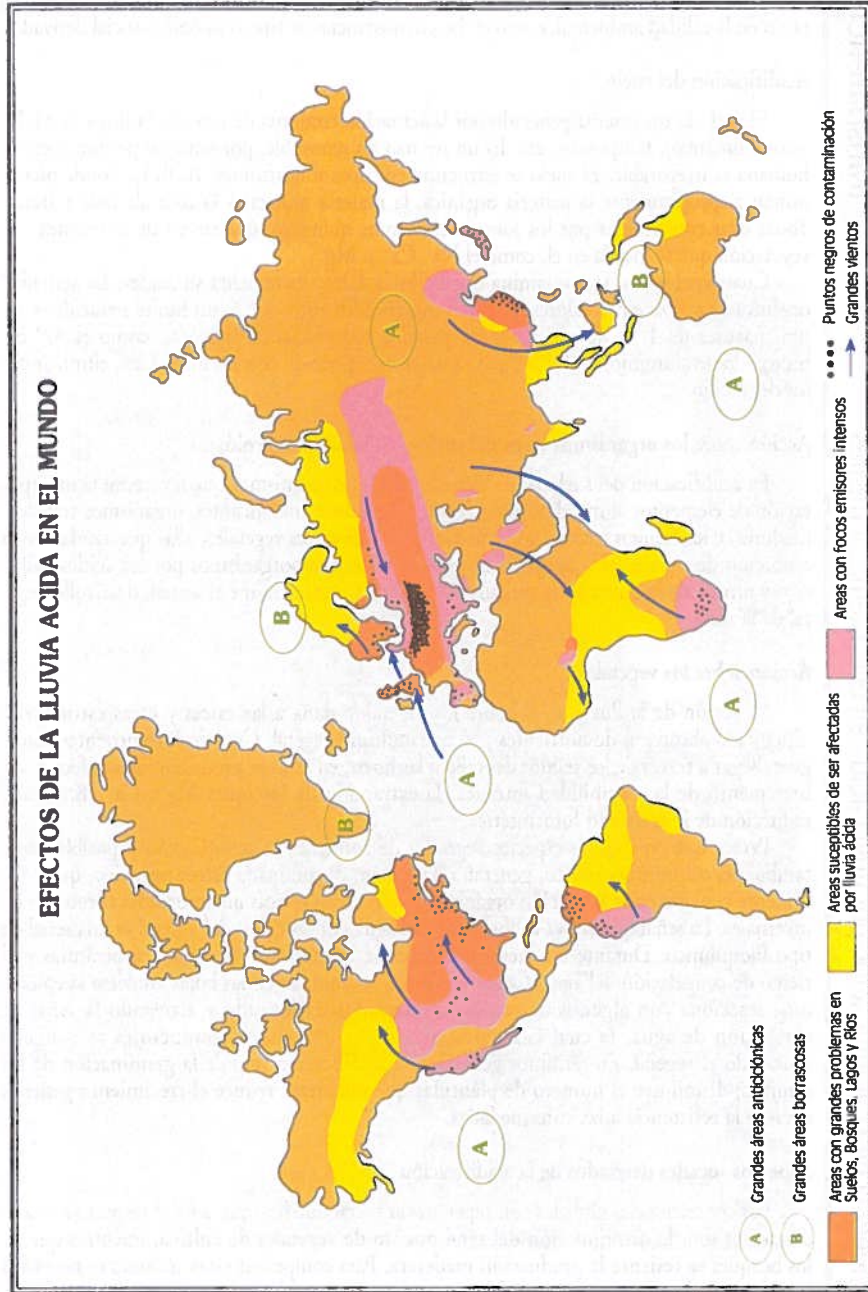
Acción sobre los vegetales

La acción de la lluvia ácida sobre los vegetales: daña a las raíces y otras estructuras, dificulta la absorción de nutrientes y el metabolismo vegetal. Cuando los nutrientes consiguen llegar a través de los tejidos del tallo a las hojas, en éstas se producen varios efectos: un incremento de la sensibilidad fotónica, la extracción de los iones Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , y una reducción de la actividad fotosintética.

Parece que en algunas especies vegetales de coníferas, la acidificación y posiblemente también el ozono troposférico, generan una acción, denominada estrés nutritivo, que básicamente consiste en la activación orgánica del vegetal en épocas no apropiadas como son las invernales. La señal que activa la absorción del agua por las raíces del vegetal es una señal de tipo bioquímico. Durante los meses invernales se inactiva por las bajas temperaturas y el riesgo de congelación del agua. Cuando el ácido acumulado en las hojas atraviesa la epidermis, reacciona con algunos derivados nitrogenados fertilizando y activando la señal de extracción de agua, la cual cuando asciende por los tejidos conductores se congela, muriendo el vegetal. En términos generales, la acidificación impide la germinación de las semillas; disminuye el número de plántulas que maduran; reduce el crecimiento general; decrece la resistencia a las enfermedades.

Aspectos sociales derivados de la acidificación

Las consecuencias globales con repercusión social que hay que señalar respecto a la acidificación son: la disminución del rendimiento de vegetales de cultivo, mientras que en los bosques se resiente la producción maderera. Para compensar estas acciones es necesario incrementar el uso de fertilizantes, lo que provoca otra problemática ambiental específica.



Escalas de contaminación por lluvia ácida

La contaminación por lluvia ácida actúa sobre la superficie del planeta, afectando en su acción, tanto en el medio acuático como en el terrestre, y sin tener en cuenta la geografía de los mismos. En función de la escala de actuación y de la duración de la contaminación, se clasifica en:

- **Contaminación transfronteriza**, cuando afecta a regiones situadas a distancias superiores a los 10.000 km. del foco productor y su acción se activa después de las 100 horas de su producción.
- **Contaminación sinóptica**, cuando afecta a áreas situadas a más de 1.000 km. del foco productor y su acción se inicia entre las 10-100 horas de producción.
- **Contaminación local**, cuando afecta a lugares situados en el entorno de su área de producción a la hora de iniciarse el proceso.

Indudablemente, en la contaminación por lluvia ácida, hay que tener en cuenta:

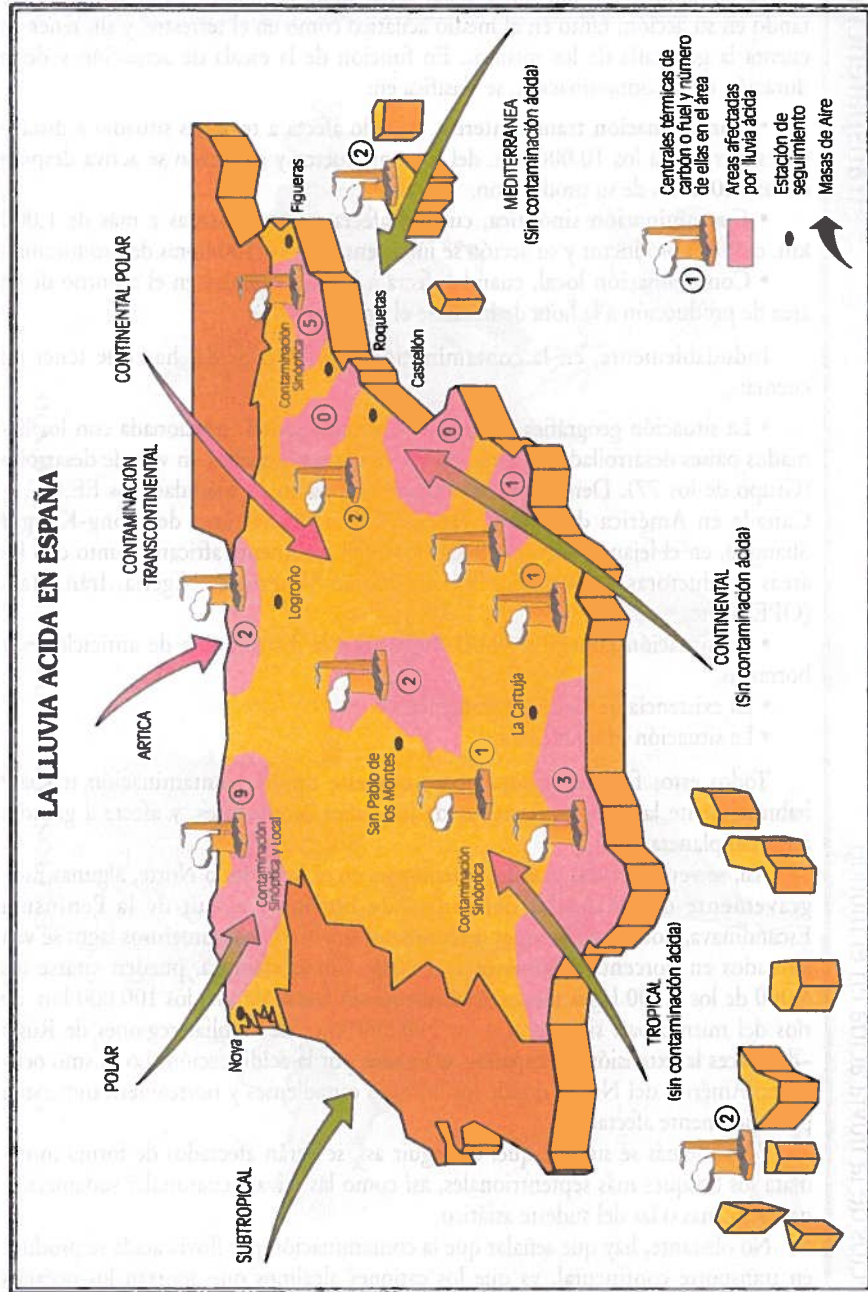
- La situación geográfica de los focos contaminantes, relacionada con los llamados países desarrollados (Grupo de los 12), o con aquéllos en vías de desarrollo (Grupo de los 77). Dentro de éstos están: Europa en su totalidad, los EE.UU. y Canadá en América del Norte, Japón y China (en el área de Hong-Kong y Shanghai), en el lejano Oriente y Sudáfrica en el continente africano, junto con las áreas productoras de petróleo en países como Venezuela, Nigeria, Irán, Irak, (OPEP), etc.
- La situación climática global, respecto a la distribución de anticiclones y borrascas.
- La existencia de vientos dominantes.
- La situación orográfica local.

Todos estos factores influyen para que este tipo de contaminación traspase habitualmente las propias fronteras de los países productores, y afecte a grandes áreas del planeta.

Así, se ven afectadas grandes extensiones en el hemisferio Norte, algunas muy gravemente como son las del centro de Europa y el Sur de la Península Escandinava, donde sus bosques de coníferas, sus ríos y los numerosos lagos se ven alterados en porcentajes superiores al 70%. Como ejemplo, pueden citarse los 4.000 de los 9.000 lagos suecos actualmente sin fauna alguna, los 100.000 km. de ríos del mismo país sin pesca, o los 900.000 km.² de amplias regiones de Rusia —dos veces la extensión de España—, afectados por la acidificación. Lo mismo ocurre en América del Norte, donde los bosques canadienses y norteamericanos están profundamente afectados.

Pero además se supone que, de seguir así, se verán afectados de forma inmediata los bosques más septentrionales, así como las selvas ecuatoriales sudamericanas, africanas o las del sudeste asiático.

No obstante, hay que señalar que la contaminación por lluvia ácida se produce en transporte continental, ya que los cationes alcalinos que aportan los océanos pueden neutralizar la lluvia ácida cuando ésta los atraviesa.



Causas y tipos

En España, como en el resto de los países industrializados, la lluvia ácida ya ha comenzado a aparecer, mostrando sus efectos en los suelos y en los vegetales, y no tardarán en empezar a conocerse datos, todavía difusos, en relación con la contaminación de los medios acuáticos continentales.

Grandes zonas del país aparecen afectadas por la lluvia ácida, sobre todo la vegetación. En nuestro caso, la contaminación está ligada genéticamente a la actividad industrial de todo tipo y, sobre todo, a la actividad de las centrales térmicas, como las de As Pontes (La Coruña) y Andorra (Teruel), las más contaminantes, que utilizan para la generación de electricidad combustibles fósiles de tipo carbón y fuel-oil. (Ver transparencia 73.)

Cuanto mayor es la concentración de azufre en estos combustibles, mayor es la emisión de uno de los contaminantes primarios, el SO₂, del que se estima que la emisión española de este producto ronda los 3.250.0000 Tm. anuales, precursor del ácido sulfúrico, H₂SO₄, causante de la lluvia ácida.

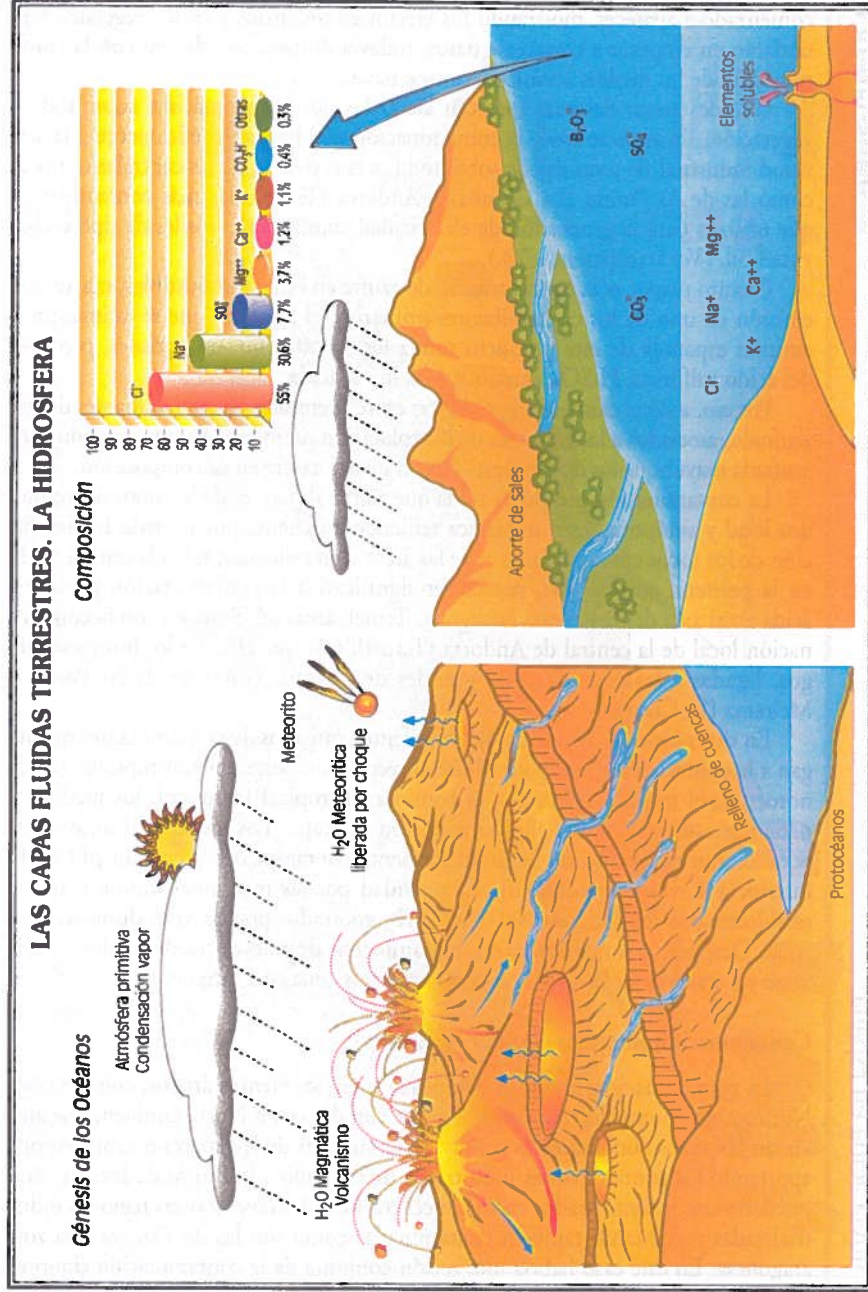
Por eso, a veces existe una correlación entre la emisión de contaminantes de tipo azufrado, asociados a los carbones de la explotación nacional, con una concentración azufrada mayor que los de exportación, con menos azufre en su composición.

La contaminación por lluvia ácida que afecta al país, es de los tipos denominados local y sinóptica. Esto se explica teniendo en cuenta por un lado la distribución de los focos contaminantes y de las áreas contaminadas, salvo la central, todas en la periferia costera. Así, parece ser significativa la contaminación por lluvia ácida en el área de Castellón, Tarragona, Teruel, áreas relacionadas con la contaminación local de la central de Andorra (Teruel), o la que afecta a los bosques gallegos, ligadas a las centrales más grandes de Europa, como las de As Pontes y Meirama (La Coruña).

En otros casos, es conocido que los vientos cargados de contaminantes que llegan a la península son: los polares, con dirección noroeste, los subtropicales (oeste-noroeste), el tropical (suroeste), el continental-tropical (suroeste), los mediterráneos (este-sureste), todos ellos situados en el mapa. Los vientos, al atravesar el océano, aun en el caso de llegar fuertemente contaminados y con un pH ácido, inferior a 4, verían neutralizada su actividad por las reacciones químicas que se establecen con los cationes Na⁺, Ca⁺⁺ y K⁺, aportados por las sales disueltas en el agua. Después, si atraviesan áreas contaminadas de nuevo, pueden volver a activarse y a transportar la nueva carga ácida a otras zonas del interior.

Contaminación sinóptica europea en España

La contaminación sinóptica europea la traen los vientos árticos, con dirección Norte, y el denominado continental polar, con dirección Norte también, que atraviesan las zonas contaminadas o muy contaminadas de Inglaterra o centroeuropa, aportando los contaminantes industriales de este tipo a la Península Ibérica. Aquí pueden verse incrementados en su concentración, al atravesar otras regiones industrializadas y por tanto también contaminadas como son las de Vizcaya o la zona aragonesa. En este caso habría una acción conjunta de la contaminación sinóptica europea y la sinóptica y local.



Génesis de las aguas oceánicas

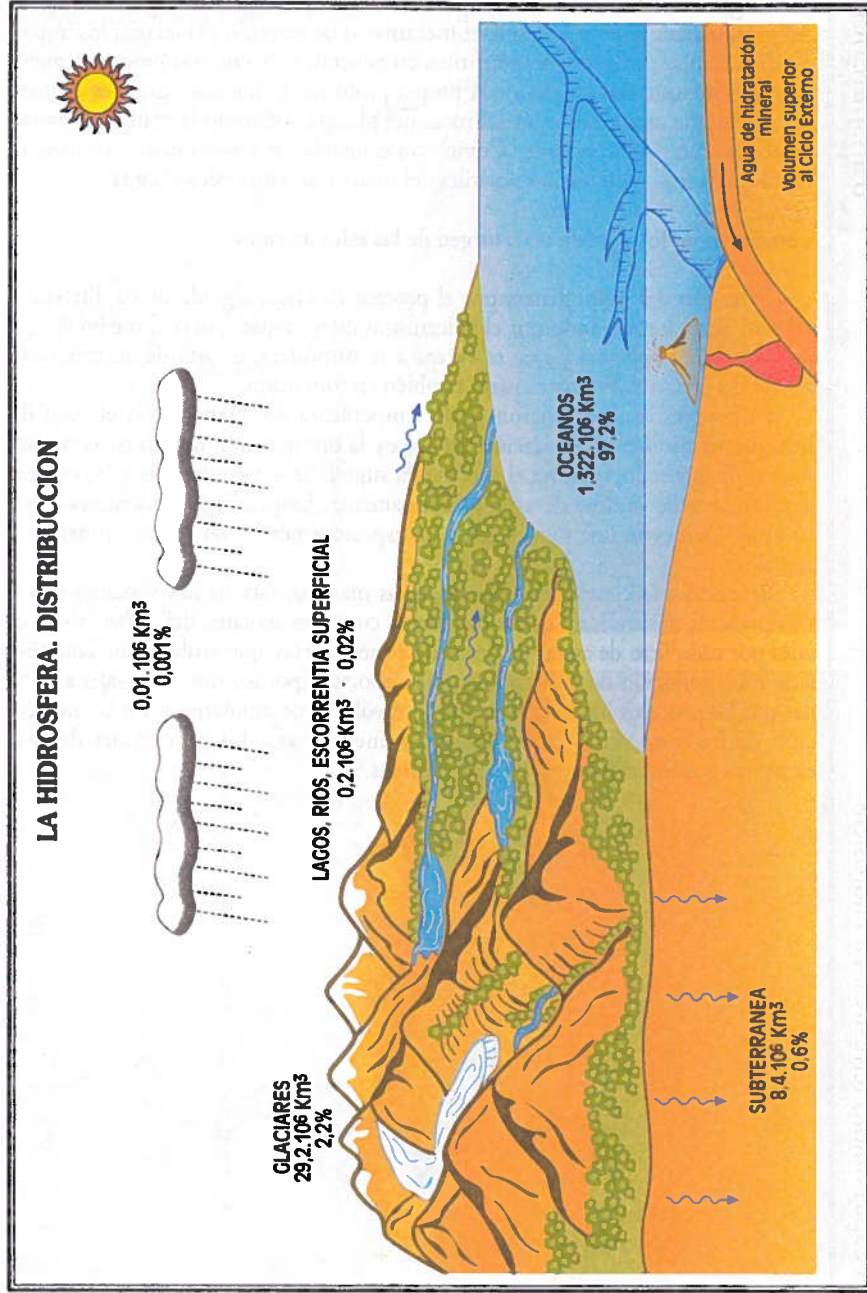
La génesis de los océanos hay que buscarla después de la configuración inicial del protoplaneta Tierra. Durante el mecanismo de acreción planetaria, los impactos de asteroides, cometas y meteoritos en general, y de cuerpos progresivamente mayores, incluso del tamaño de la propia prototierra, liberaban grandes cantidades de energía capaz de fundir las rocas del planeta, así como la materia constituyente del cuerpo impactante. Como consecuencia, se desprendían en forma de vapor todos los componentes volátiles del meteorito, entre ellos el agua.

Composición del agua de mar: origen de las sales marinas

La fusión del protoplaneta por el proceso descrito, seguida de su diferenciación en capas y sobre todo por el vulcanismo intenso que aporta al medio el agua que contiene el magma y que se escapa a la Atmósfera, es otra de las causas del aporte del agua a la Protoatmósfera también en formación.

La progresiva disminución de la temperatura del planeta con el paso del tiempo, permitió la condensación del agua y la precipitación líquida de la misma. A medida que se incrementa el proceso, la superficie se va enfriando y las cuencas deprimidas rellenas de agua paulatinamente. Empezaba así una nueva etapa, con una Tierra con una morfología y un aspecto general cada vez más próximo al actual.

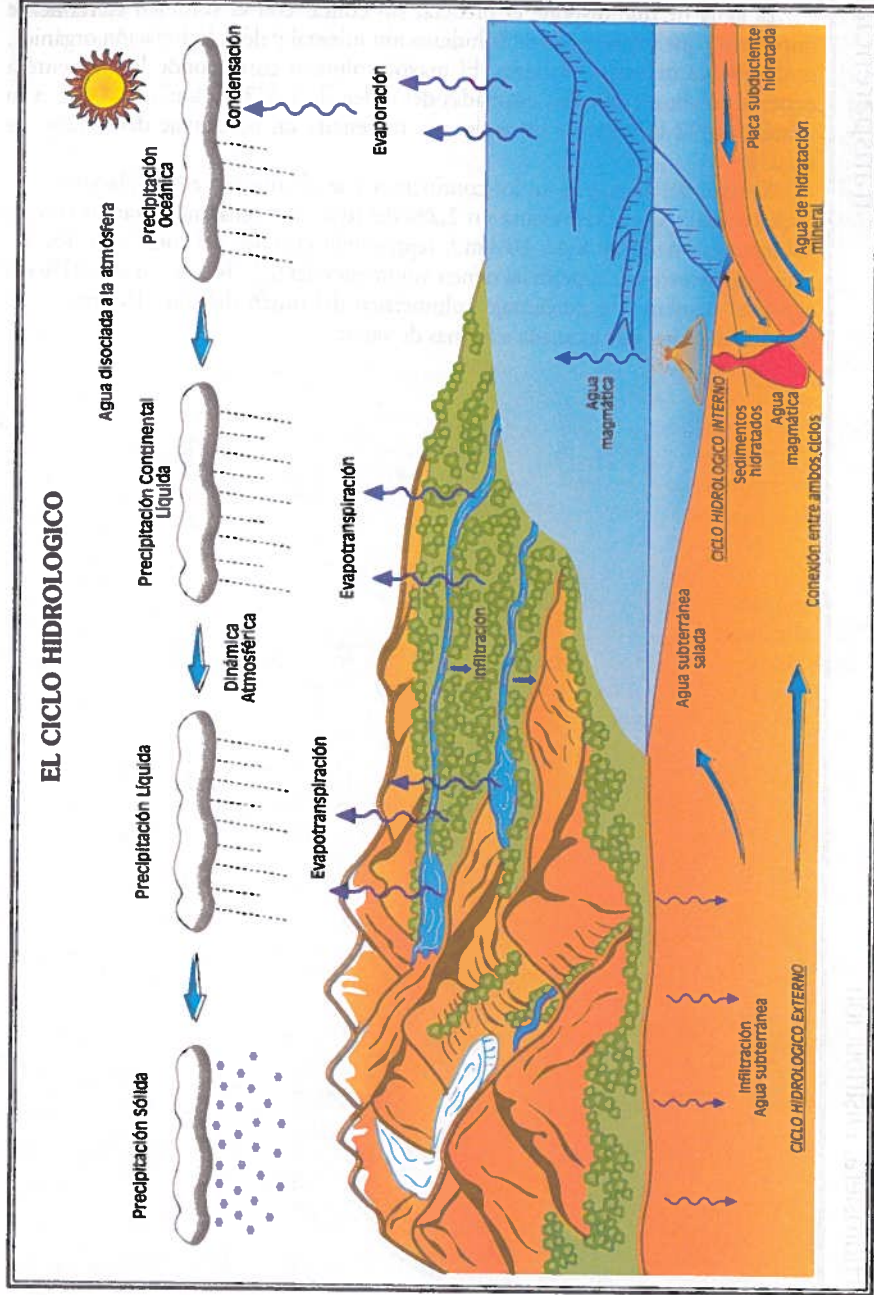
Respecto a la composición de las aguas marinas, ésta ha ido variando con el tiempo hacia unos valores de concentración como los actuales, del 35‰ (35 gr. de sales por cada litro de agua) de porcentaje medio. Hay que atribuir esta composición a la disolución de sales continentales aportada por los ríos, a las sales aportadas por los procesos internos, como son los volcánicos submarinos, y a la intervención de los seres vivos. En el diagrama pueden verse los porcentajes de cada elemento que intervienen en las sales marinas.



Distribución del agua en la Tierra. Balance global

El agua de que dispone el planeta, sin contar con el volumen ciertamente importante que forma parte de la hidratación mineral y de la hidratación orgánica, se distribuye de varias maneras. El mayor volumen corresponde lógicamente a mares y océanos, con cifras estimadas del orden de $1.322 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, o lo que es lo mismo, 1.322 billones de litros, lo que representa un porcentaje del 97,2% del total.

El resto del agua, está en los continentes y se distribuyen en los glaciares, con $29,2 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, lo que representa un 2,2% del total. Las aguas subterráneas con un volumen estimado de $8,4 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, representan el 0,6% del total. Los ríos, los lagos y la escorrentía superficial tienen volúmenes del $0,2 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, o el 0,02% del agua del planeta. Un porcentaje volumétrico del orden del $0,01 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, o el 0,001% del total está asociada a formas de vapor.



El ciclo hidrológico

Uno de los factores que diferencian la Tierra de los demás planetas del Sistema Solar es la existencia en superficie de agua en los tres estados. Lógicamente y en esa zona, los mayores volúmenes corresponden a los océanos seguido de los glaciares, lagos, ríos o la que forma parte de los seres vivos. Sin embargo, en profundidad hay ingentes volúmenes de agua asociada a la composición y estructura mineral.

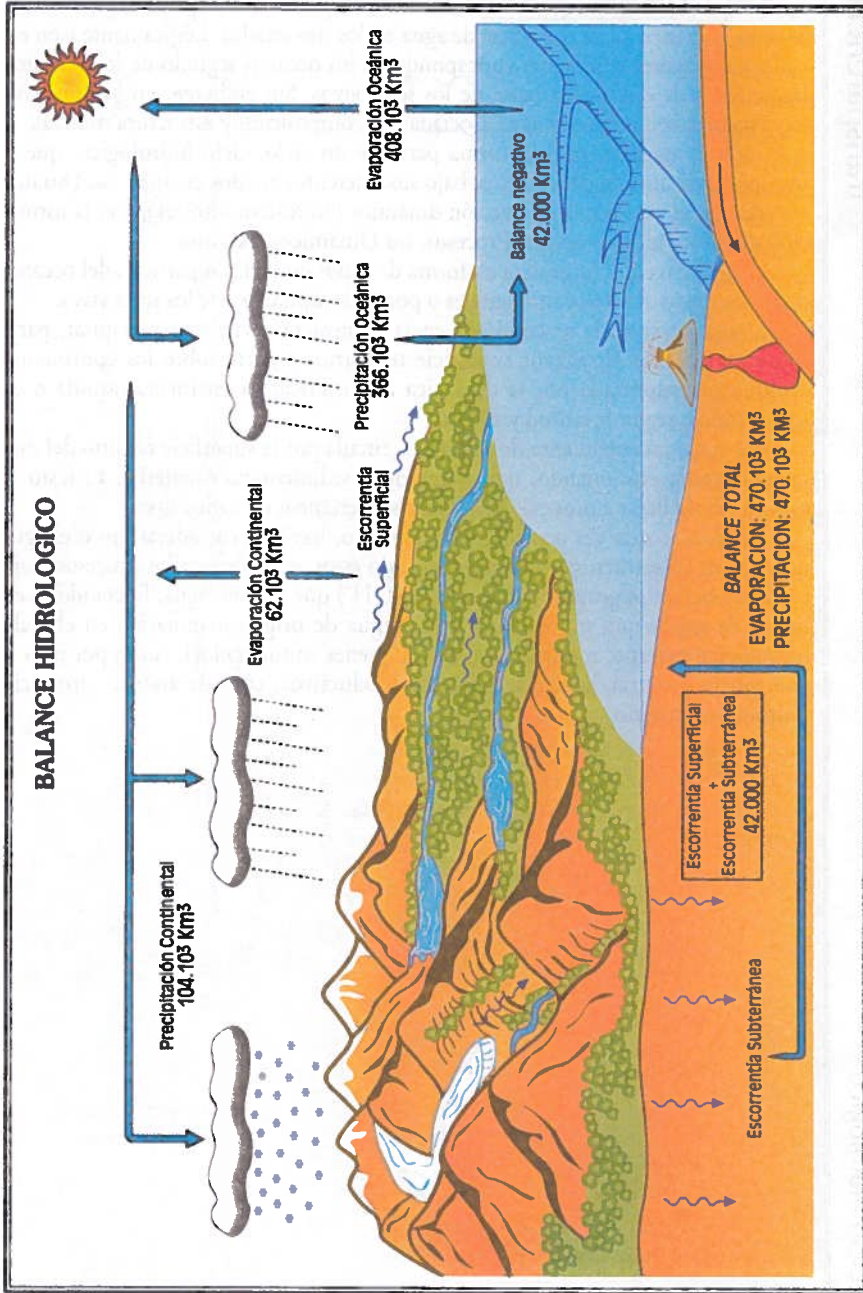
Todo el agua del planeta forma parte de un ciclo, ciclo hidrológico, que la transporta de unos lugares a otros, bajo sus diferentes estados energéticos. Durante ese trasiego se produce la interacción dinámica Hidrosfera-Litosfera, con la formación de múltiples y complejos Procesos, los Dinámicos Externos.

El agua pasa a la Atmósfera en forma de vapor desde las superficies del océano, desde las masas acuosas continentales o por la transpiración de los seres vivos.

El agua evaporada se condensa en la Atmósfera y vuelve a precipitar, parte sobre los océanos (la mayor superficie terrestre), y parte sobre los continentes donde es transportada por la dinámica atmosférica, ya en forma líquida o en forma sólida, según la latitud y altitud.

Ese agua, independiente de su estado, circula por la superficie camino del mar meteorizando, erosionando, transportando y sedimentando material. El resto se infiltra dando lugar a procesos geológicos subterráneos de varios tipos.

Además, y cada vez con más conocimiento, hay que considerar tanto el agua que está en las estructuras minerales (cuando éstos se funden en los procesos magmáticos liberan los grupos químicos (H⁺) (OH⁻) que forman agua, liberándolos en forma de vapor que se introduce como agua de origen magmático en el ciclo hidrológico externo, modificando los volúmenes considerados), como por otro la que puede penetrar mediante procesos subductivos, considerándose otro ciclo hidrológico interno.



Balance global del ciclo hidrológico. Energías intervinientes y cuantificación del proceso

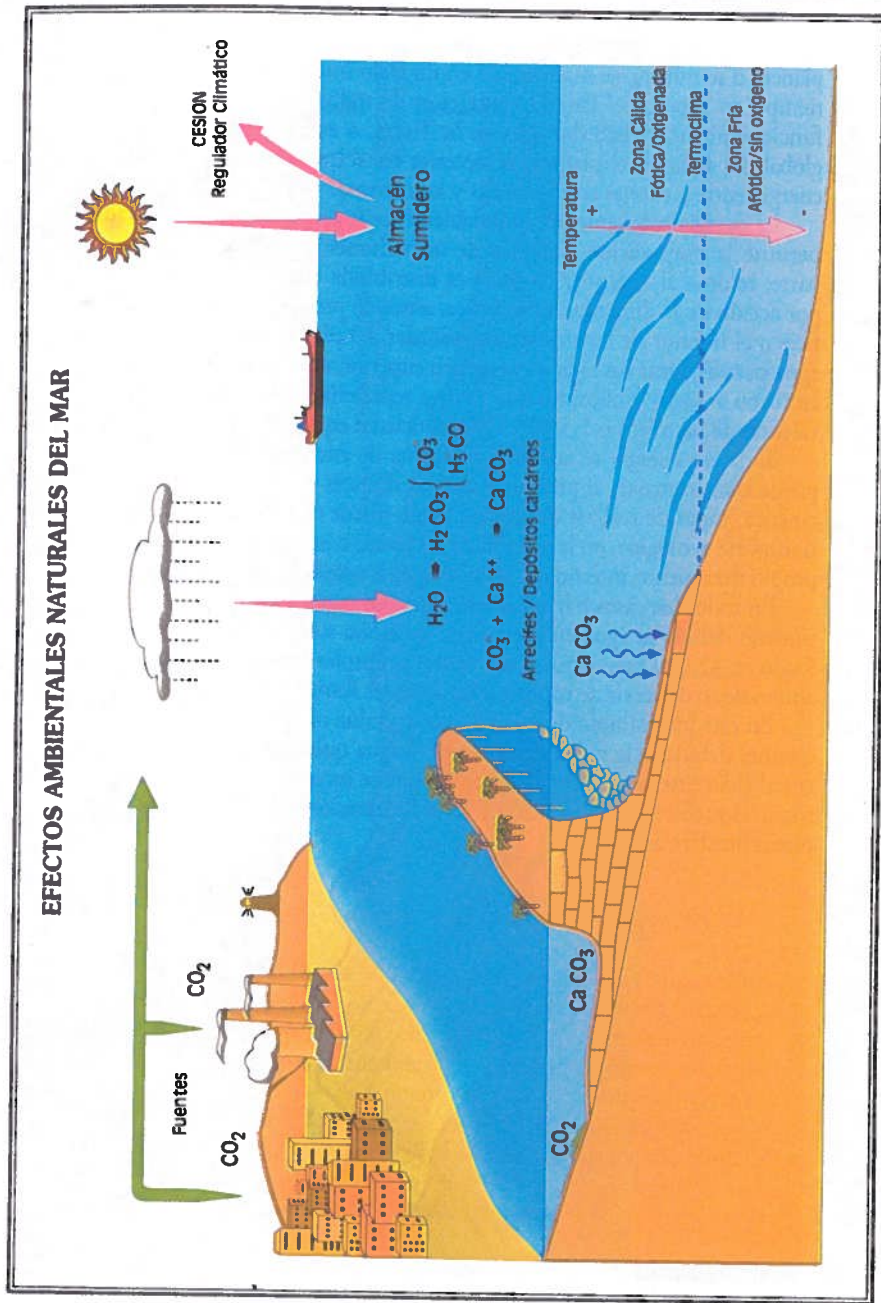
Como se ha visto en el ciclo hidrológico, el agua circula por la superficie del planeta o se infiltra, se intercambia en un ciclo interno, o vuelve a aparecer con el tiempo en superficie. Para la realización de todos estos procesos descritos en el funcionamiento cíclico del agua en la Tierra, o en el apartado actual de balance global del agua en el planeta, se necesita considerar el intercambio de materia y energía entre las zonas continentales y las marinas.

La energía interviniente, indudablemente la solar, es una energía radiante que permite la evaporación oceánica de un volumen considerable de agua, que en parte, retorna al océano y en parte es distribuida cuando está en forma de vapor por acción de la dinámica atmosférica, antes de precipitar y discurrir por la superficie o el interior de los niveles superficiales del planeta. La energía transmitida al agua para alcanzar un estado energético superior, en forma de vapor, está evaluada en torno a $32 \cdot 10^{19}$ julios. Lo que viene a representar $7,6 \cdot 10^9$ TEP (toneladas equivalentes de petróleo) o $1,5 \cdot 10^{10}$ TEC (toneladas equivalentes de carbón).

Toda esa energía se acumula en forma de energía potencial gravitatoria, que puede transformarse, al precipitar el agua después de su condensación, en energía cinética, capaz de realizar un trabajo como puede observarse en la naturaleza en el transporte geológico, en la erosión de las rocas, o en la energía gastada en vencer el propio rozamiento interno del agua, o de ésta con las rocas del subsuelo.

En todos los casos hay un intercambio de materia entre los océanos y los continentes debido al agua en exceso que precipita sobre éstos. El volumen está evaluado en 42.000 km^3 capaces de realizar múltiples acciones geológicas como se ha apuntado, o de servir de soporte a las acciones humanas.

En este intercambio de materia, no se evalúa ni el agua que se pierde por disociación, debidas a la radiación solar, ni el agua que aportan los procesos magmáticos al ciclo externo, compensada por la que se incorpora al manto en los sedimentos arrastrados en la subducción y en la hidratación de los minerales y rocas de las placas litosféricas.



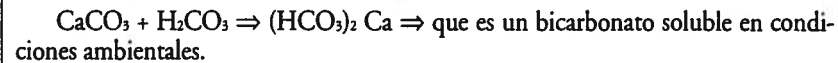
Efectos ambientales naturales asociados a las aguas marinas. Incidencia en el ciclo del carbono

Varias son las acciones ambientales que de una forma natural realiza el océano. De una manera directa se encarga de regular el llamado ciclo del carbono en la Tierra. El CO₂ atmosférico reacciona con el agua de precipitación y del océano para formar ácido carbónico en disolución. Éste puede disociarse a su vez en iones carbonatos (CO₃⁼), que a su vez es capaz de reaccionar con los iones de calcio disueltos en el agua marina para formar carbonatos.

Estos carbonatos forman las rocas calizas que se depositan en el fondo, reteniendo así parte de la concentración del CO₂ en el medio. Por otro lado, los vegetales que viven en la zona fótica marina, aquella a la que alcanza la luz solar, absorben otra parte del CO₂ disuelto para realizar la fotosíntesis. Para cerrar el ciclo, cuando el vegetal se muere, vuelve a ceder el carbono de su composición al medio que a su vez, puede reaccionar de nuevo con los iones calcio para volver a formar más carbonatos.

Los nutrientes del fondo, que periódicamente ascienden por corrientes de tipo «upwelling», permiten el desarrollo de microorganismos planctónicos, con esqueleto calcáreo. El CO₂ fijado en estas estructuras, cuando el organismo muere se acumula formando rocas biogénicas de composición carbonatada.

Las acciones tectónicas indiferenciadas aquí, pueden liberar el carbono contenido en las rocas (calizas y dolomías) cuando al aparecer en superficie y actuar sobre ellas la meteorización química, se disuelven por un proceso de carbonatación como el que se indica:

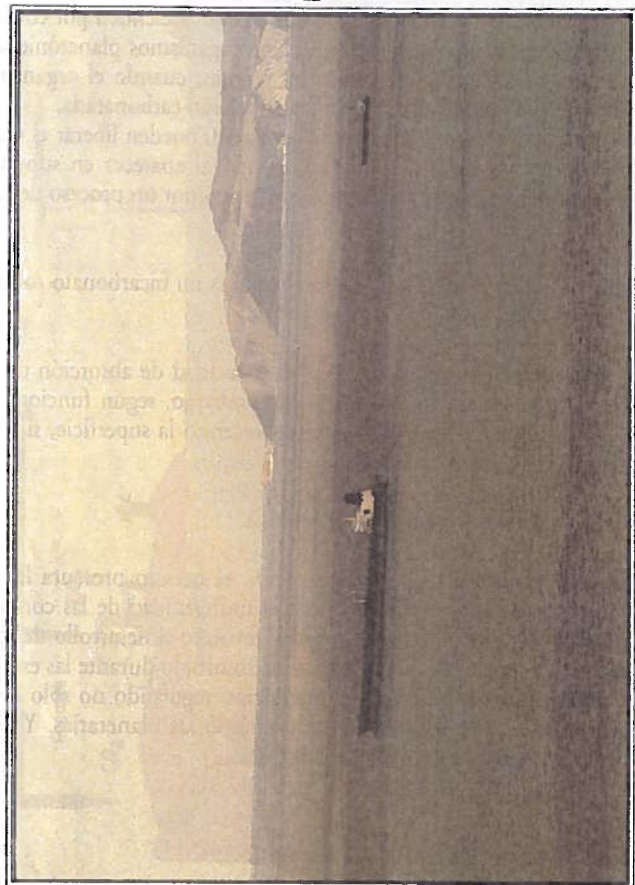


En parte puede atenuar, debido a su capacidad de absorción de CO₂, el dióxido de carbono de origen antrópico. Sin embargo, según funciona el ciclo, a la larga el incremento de CO₂ acaba por aparecer en la superficie, si bien el tiempo geológico será claramente diferente.

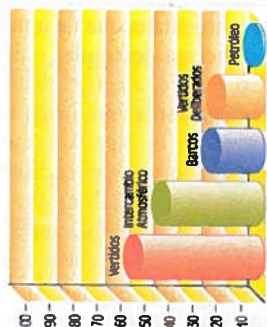
Absorción de energía y regulación climática

Además de controlar el ciclo del CO₂, el océano presenta la capacidad de absorber energía. La absorción conlleva la uniformidad de las condiciones físicas del mismo y esta propiedad directamente favorece el desarrollo de los seres vivos. En concreto, la capacidad de ceder el calor absorbido durante las estaciones cálidas en las estaciones más frías permite atemperar, regulando no sólo las condiciones climáticas locales, sino las regionales e incluso las planetarias. Y por todo ello, afecta directamente al desarrollo de la Biosfera.

PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES EN RELACION CON LAS AGUAS MARINAS



Costa de Vizcaya



Principales problemas ambientales en relación con las aguas marinas

transparencia 42

La contaminación marina: causas

Las posibilidades de contaminación de las aguas oceánicas son múltiples, así como su catalogación. A grandes rasgos se podrían considerar tres grandes criterios de clasificación de la contaminación marina:

- a) La que se realiza **directamente en el mar**. Desde el punto de vista cuantitativo la más importante.
- b) La que se produce como consecuencia del **intercambio interfásico entre la Atmósfera y la Hidrosfera**.
- c) La que se produce por el **intercambio entre el continente y el océano**.

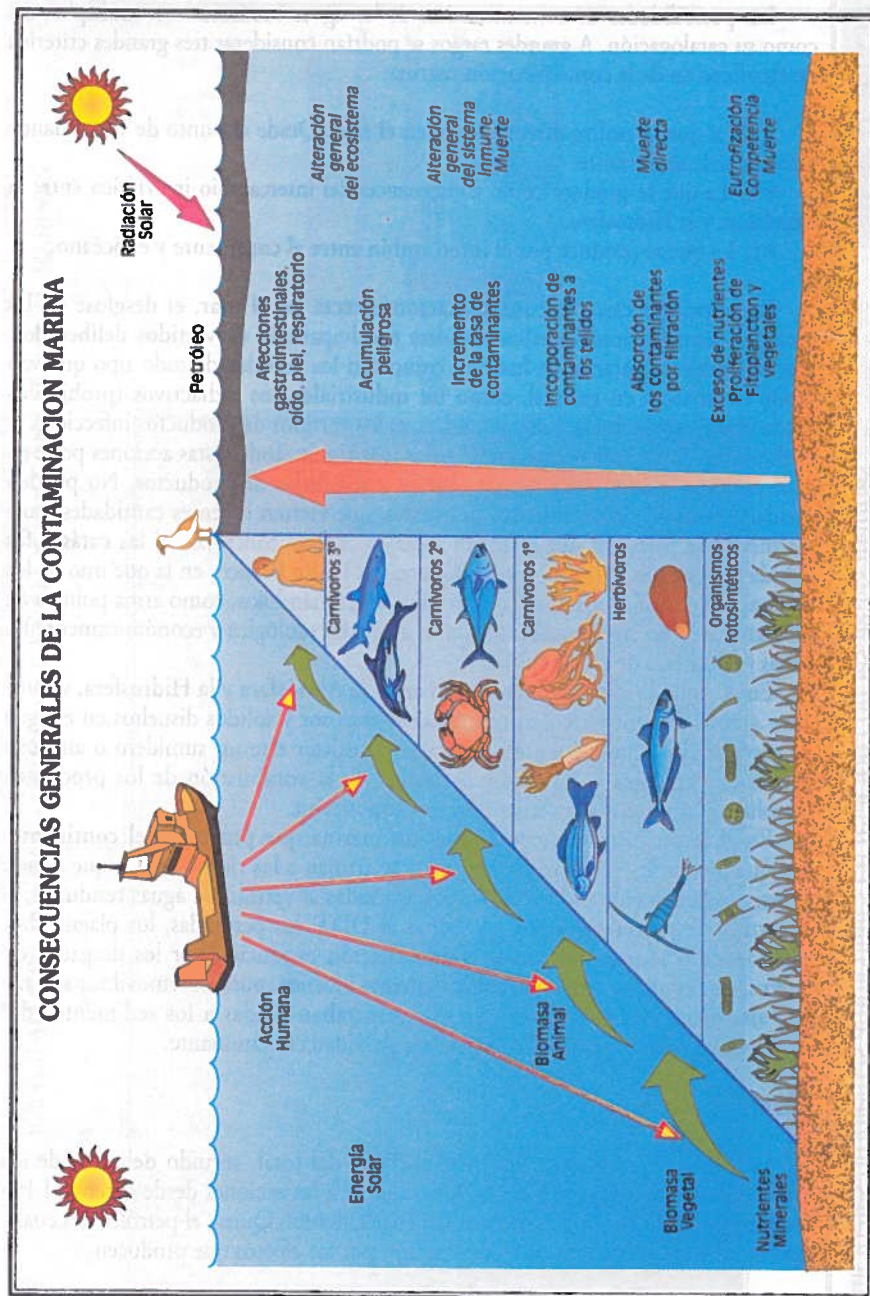
En el primer caso, la **contaminación directa en el mar**, el desglose de las acciones contaminantes pueden incluirse en el apartado de **vertidos deliberados**, con actitudes voluntarias de hacerlo, como son los vertidos de todo tipo que van desde los tóxicos en general, como los industriales, los radiactivos (prohibidos desde 1983), las incineraciones en alta mar, los vertidos de productos infecciosos o la eliminación de desperdicios en las rutas marítimas. Todas estas acciones pone en la circulación marina millones de objetos y toneladas de productos. No pueden olvidarse tampoco los **accidentes puntuales**, que vierten ingentes cantidades, normalmente de petróleo, que arruinan áreas específicas concretas, ni las **catástrofes debidas a acciones bélicas**, como la Guerra del Golfo Pérsico, en la que uno de los contendientes utilizó los pozos de petróleo, incendiándolos, como arma política de disuasión. Como consecuencia se vieron afectadas ecológica y económicamente las zonas petrolíferas de la región.

En el segundo caso, el **intercambio entre la Atmósfera y la Hidrosfera**, se produce gracias al transporte de los productos gaseosos y sólidos disueltos en el agua de precipitación que vierten al océano, al constituir éste un sumidero o almacén para todos aquellos compuestos derivados de la combustión de los productos petrolíferos asociados a la contaminación atmosférica.

En el tercer grupo, la **contaminación marina que proviene del continente**, hay que incluir los vertidos que sin tratar se arrojan a los ríos. Vertidos que tienen génesis esencialmente industrial y otras asociadas al vertido de aguas residuales, o al vertido de productos químicos, como el DDT, los pesticidas, los plaguicidas, etc. Mención aparte merecen la contaminación producida por los dragados de puerto, de ríos, lagos, etc., que aparentemente inocuos, pueden remover sustancias altamente contaminantes que se encontraban fijadas a los sedimentos del fondo y que pueden reiniciar de nuevo su actividad contaminante.

Cuantificación de los efectos

Los vertidos en general suponen un 54% del total, seguido del 33% de los intercambios atmosféricos y del 12% atribuible a las acciones desde barcos, el 1% restante es debido al vertido de petróleo en accidentes. Quizá, el petróleo sea cualitativamente el más peligroso de los vertidos, por los efectos que producen.



Consecuencias generales de la contaminación marina

transparencia 43

Estructura básica del ecosistema (consultad transparencia 109)

El ecosistema marino tiene en su escalón más bajo, los organismos productores de biomasa, es decir, los vegetales que necesariamente deben habitar la zona fótica (con luz), ya que utilizan ésta junto con las sales minerales y el agua para la realización de la función clorofílica. Estos organismos que pueden vivir fijos en el suelo, llamados bentónicos, o ser integrantes del fitoplancton (vegetales libres con capacidad de flotar) sirven de alimento al siguiente escalón, el de los herbívoros marinos, que se nutren a sus expensas. El resto de la cadena alimenticia lo constituyen los carnívoros, primarios, secundarios o terciarios, incluyendo al hombre, como máximo depredador.

La biomasa del ecosistema marino disminuye a medida que se asciende en la pirámide, para mantener la estructura y el equilibrio ecológico entre los distintos estamentos, no pudiendo haber más individuos en un escalón que alimento disponible en el escalón inferior.

Incidencia general de la contaminación marina en el ecosistema

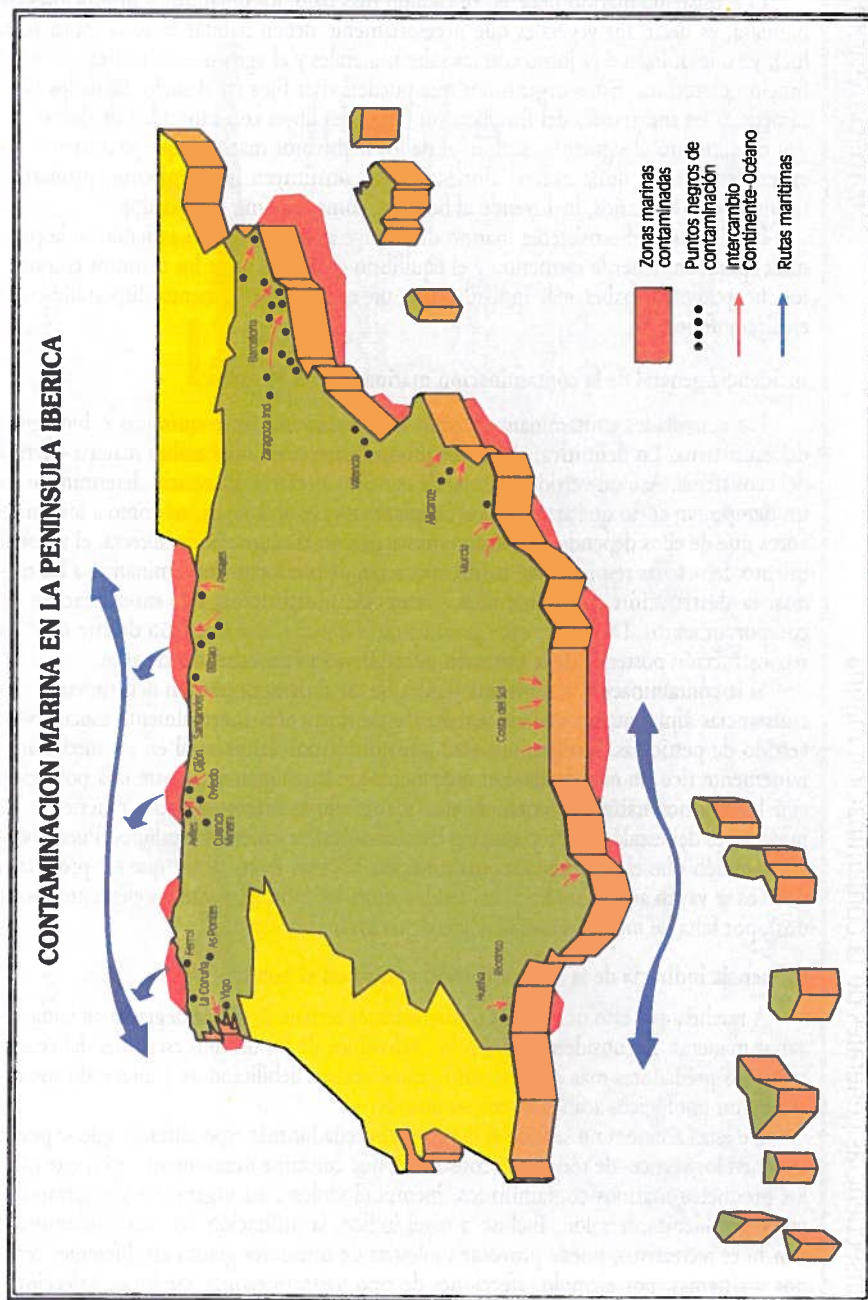
Las actividades contaminantes varían las condiciones físico-químicas o biológicas del ecosistema. En definitiva, alteramos profundamente el intercambio materia-energía del ecosistema. Así, un vertido puntual de petróleo afectaría un espacio determinado en un tiempo tan corto que arruinaría el fitoplancton y zooplancton, así como a los herbívoros que de ellos depende mediante varias acciones: la acumulación directa, el taponamiento de sus vías respiratorias, la incorporación de productos contaminantes a los tejidos, la destrucción de los hábitats y áreas de nidificación y la modificación de comportamientos. La muerte sería la conclusión lógica a una situación de este tipo. La reconstrucción posterior de la situación inicial llevaría varias decenas de años.

Si la contaminación es continua y dilatada en el tiempo, pueden ocurrir varias circunstancias ambientales: que el incremento de nutrientes (normalmente asociados al vertido de pesticidas, fertilizantes, etc.) aumente la población basal en un medio aparentemente rico, lo que conlleva el incremento de la competencia entre una población con los mismos hábitos, alimentos, etc., y con ello la más que segura muerte de los integrantes del escalón. La repercusión es extrapolable a los otros escalones. Puede ocurrir también que el proceso de contaminación sea más lento aún y que los productos nocivos se vayan acumulando en los tejidos animales (normalmente los elementos pesados), por falta de mecanismos fisiológicos que los metabolicen.

Influencia indirecta de la contaminación marina en el hombre

A medida que esto ocurre, los contaminantes actúan de forma degradativa lenta, de varias maneras. Si consideramos sólo los individuos de los últimos escalones del ecosistema, los predadores más especializados, éstos acaban debilitándose y alterando sus sistemas inmunológicos acabando con su muerte.

De estas acciones no se libra el hombre, el predador más especializado, que se puede situar en los vértices de todos los ecosistemas, que consume masivamente, y en este caso, los productos marinos contaminados, incorporándolos a su organismo y acarreándole graves problemas de salud. Incluso a nivel lúdico, la utilización del mar contaminado con fines recreativos, puede provocar molestias de diferentes grados en diferentes órganos y sistemas, por ejemplo, afecciones de tipo gastrointestinal, cutáneas, infecciones oculares, ópticas, etc.



Principales focos de contaminación marina en España

La contaminación marina que sufren los 4.000 km. de costa de la Península Ibérica, y a muy grandes rasgos, pueden catalogarse siguiendo los criterios establecidos con anterioridad. Existe una contaminación asociada a los vertidos indiferenciados, directos, otra a través del continente, y la tercera al intercambio con la Atmósfera. Todas ellas relacionadas con la situación de los polos industriales del norte y noreste peninsular.

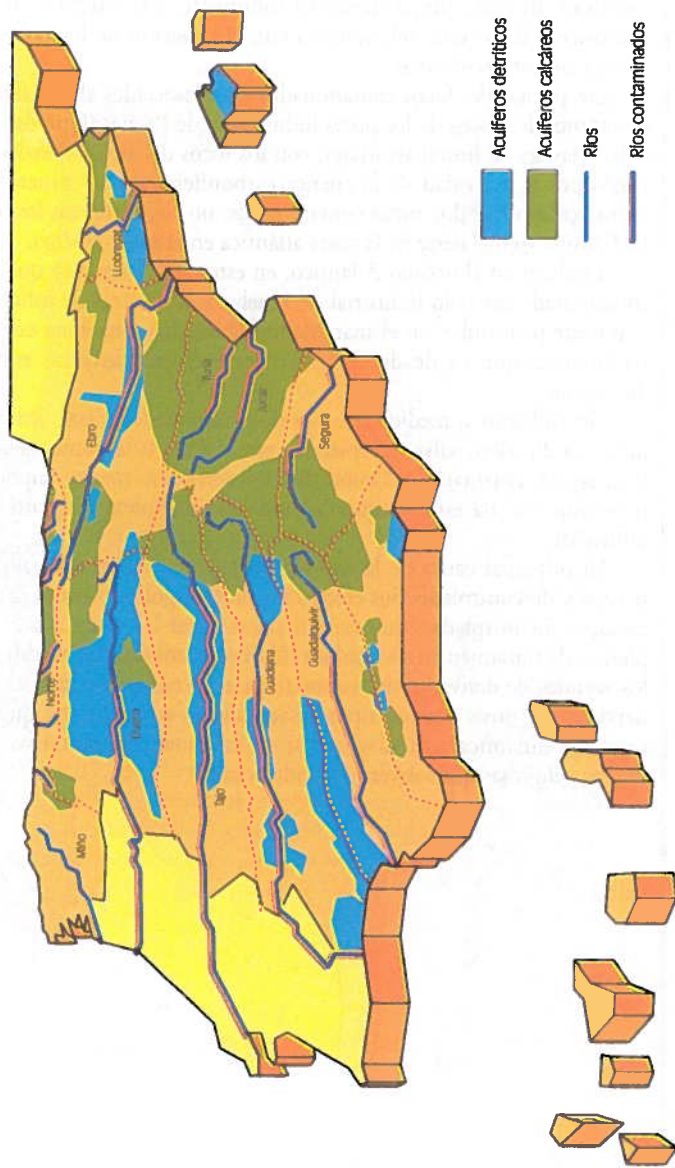
Los principales focos contaminados están asociados al litoral vasco-cantábrico, destacando los focos de los polos industriales de Pasajes (Guipúzcoa), Gran Bilbao y Torrelavega; al litoral asturiano, con los focos del área Gijón-Avilés y los ocasionados por la actividad de la cuenca carbonífera central minero-asturiana. En el litoral gallego hay dos zonas contaminadas: una al norte con los focos del Ferrol y La Coruña y en el oeste en la costa atlántica en la zona de Vigo.

También en el océano Atlántico, en este caso al sur, hay que destacar, la zona contaminada del polo industrial de Huelva y la del área de influencia minera. En el noreste peninsular, en el mar Mediterráneo, hay una zona contaminada industrialmente, que va desde el límite gerundense hasta las zonas del Vallés y Tarragona.

Sin embargo, a medida que nos desplazamos desde esta última hacia latitudes más meridionales, salvo excepciones puntuales, en la costa valenciana, murciana (Cartagena, Portman, La Unión, Escombreras), no menos importantes, la contaminación marina está ligada a actividades antrópicas diferentes de la actividad industrial.

La principal causa de la contaminación marina en estas zonas es el turismo masivo y descontrolado. Sus efectos tienen las siguientes características: las urbanizaciones incontroladas, que vierten sin depurar las aguas residuales al no existir plantas de tratamientos de residuos líquidos ni sólidos; las modificaciones costeras; los vertidos de derivados de la construcción de espigones; la instalación de puertos deportivos y otros muchos tipos de actividades especulativas, que inciden modificando la dinámica costera y que se transforman, en definitiva, en acciones no menos peligrosas que los vertidos industriales.

DISTRIBUCION GENERAL DE LAS AGUAS CONTINENTALES EN ESPAÑA



Distribución general de las aguas continentales en España

transparencia 45

Aguas continentales. Distribución

El agua tradicionalmente se ha considerado como un recurso natural, recurso que la mayoría de las veces se ha pensado inagotable, regenerable y sin mayores problemas ambientales. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, el desarrollo humano es mayor, crecen las necesidades y cada vez somos más conscientes de que se trata de un bien frágil, de un recurso que, aunque renovable, hay que cuidar, y más teniendo en cuenta la distribución tan irregular que tiene incluso a una escala geográfica reducida como la de un país con la extensión de España.

Ya se ha apuntado en otro lugar, que de las aguas continentales, sin tener en cuenta la de los glaciares, cuyas aguas al menos a grandes rasgos no se utilizan, los mayores volúmenes corresponden a los de las aguas subterráneas, agua de precipitación atmosférica que se infiltra y se acumula en las rocas formando acuíferos, de tipo libre o confinados, que se forman sobre todo en las rocas detríticas o en las rocas de composición carbonática de las distintas áreas y de las diferentes cuencas hidrográficas. Le siguen las aguas superficiales de los ríos y los lagos. En estas formas, los volúmenes de aguas son mucho más reducidos.

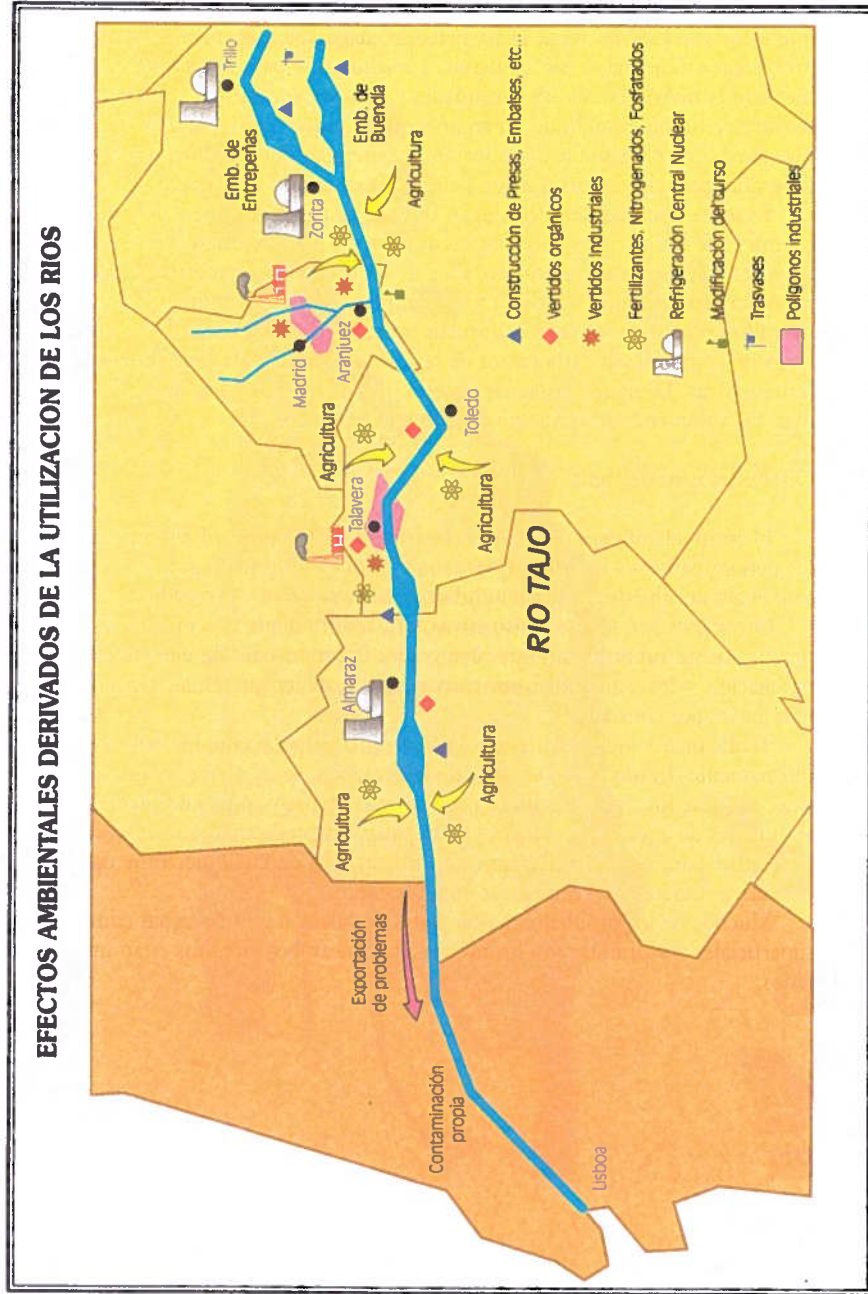
Diferentes usos del agua

El aprovechamiento de las aguas continentales presentan diferentes usos: unos, los denominados **usos consuntivos**, aquellos que consumen agua. Los principales son: el abastecimiento de grandes urbes, el uso industrial y el regadío.

Otros usos son los **no consuntivos**, que teóricamente no consumen, pero que prácticamente suponen su gasto, como son: la producción de energía eléctrica, la navegación y los usos lúdico-recreativos, que también presentan algunos problemas graves por considerar.

Tradicional y lógicamente han sido las aguas superficiales las más usadas, pero últimamente debido al incremento de la demanda, se recurre a las aguas subterráneas. En muchos casos se utilizan poco racionalmente y como complemento de los volúmenes de aguas superficiales y para paliar los progresivos aumentos de caudal necesarios para el desarrollo agrícola, industrial o de cualquier otro tipo (riego, recreativo-lúdico, etc.), impuestos por el hombre.

Muchos de los problemas ambientales en relación con las aguas continentales superficiales y profundas son los mismos, ya que ambos circuitos están interconectados.



Efectos ambientales derivados del uso de los ríos

Los ríos tradicionalmente han sido utilizados por el hombre con diversos fines. Antigamente se han usado como barrera defensiva frente a hipotéticos enemigos o reales; para regar los cultivos que les suministraban el alimento; o como vehículo de transporte de sus actividades comerciales.

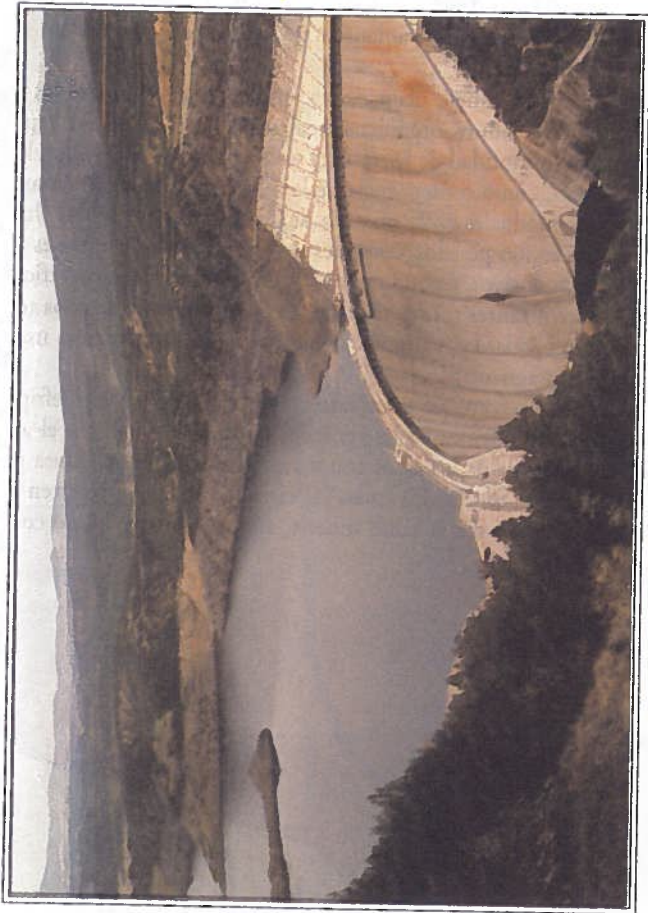
En la actualidad, las actividades humanas en relación con los ríos podrían denominarse de multiusos, ya que además de los usos tradicionales se han utilizado sus cursos: regulándolos, urbanizándolos, distribuyendo sus aguas, modificando su curso e incluso construyendo en su lecho. El resultado de todo esto es la aparición de impactos ambientales de distintos tipos, unos ligados a la construcción de presas, embalses, diques, puentes o trasvases. (Ver transparencia 47.)

Además de estas acciones, la mayoría de las veces se utilizan los cursos fluviales como: colector de residuos, como vertederos, o como refrigerante de centrales térmicas y nucleares. Cualitativamente los vertidos son la actividad antrópica más importante por señalar.

De tipificación difícil, ocupan una amplia gama de productos que va, desde los vertidos de residuos orgánicos fecales sin tratamiento en depuradora —que incorporan gran cantidad de bacterias y virus entéricos, la mayoría de ellos patógenos a las aguas, como consecuencia de la falta generalizada de tratamiento específico de aguas residuales en la mayoría de las ciudades ribereñas—, hasta el vertido industrial de aceites pesados, compuestos hidrocarburos o metales pesados como productos más nocivos, pasando por la infiltración, desde la superficie a los acuíferos, de los fertilizantes nitrogenados y los compuestos fosfatados (que eutrofizan las aguas), sin olvidar la incorporación al caudal, de los pesticidas usados para controlar las plagas agrícolas.

En las ocasiones en que se utilizan las aguas fluviales como refrigeración de los sistemas correspondientes en las centrales térmicas y nucleares, el agua retorna al cauce y en el mejor de los casos con varios grados de temperatura por encima de sus parámetros normales. En todas las circunstancias se producen consecuencias no deseables tanto para la salud urbana, animal, como para las cosechas regadas con estas aguas.

EFFECTOS AMBIENTALES DERIVADOS DE LA CONSTRUCCION DE PRESAS



Presas del Atazar. (Madrid)

ECOLOGICOS

Régimen fluvial → Régimen lacustre
Eutrofización

VERTIDOS
Modificación de parámetros físico-químicos
Pesticidas
Fertilizantes
Minerales pesados
Hidrocarburos
Aceites
Residuos fecales

GEOLOGICOS

Retención de terrígenos → Rulna de la presa
Colmatación → Erosión encañamiento aguas abajo
Disminución acarreo → Retroceso de deltas
Ausencia de aportes a deltas

Efectos ambientales derivados de la construcción de presas

transparencia 47

Efectos ambientales derivados de la construcción de presas

Los regímenes fluviales están sometidos a multitud de circunstancias que modifican las condiciones ambientales naturales. Las principales son debidas a la construcción de obras públicas, la modificación de cauces y los vertidos indiscriminados a lo largo de la cuenca.

De entre todos, destaca la construcción de presas y asociada a ellas hay efectos ambientales graves, y que se pueden clasificar en: efectos ambientales de tipo ecológico y efectos ambientales de tipo geológico. Entre los primeros, el principal efecto es la transformación de un régimen hidráulico fluvial en otro lacustre. Indudablemente, esto ocasiona el cambio de un ecosistema fluvial con un agua renovada y en circulación permanente, con una fauna y una flora específica, en otro ecosistema distinto, de aguas estancadas, cuya renovación depende de las condiciones físico-químicas, y que tienen una fauna y una flora totalmente diferente.

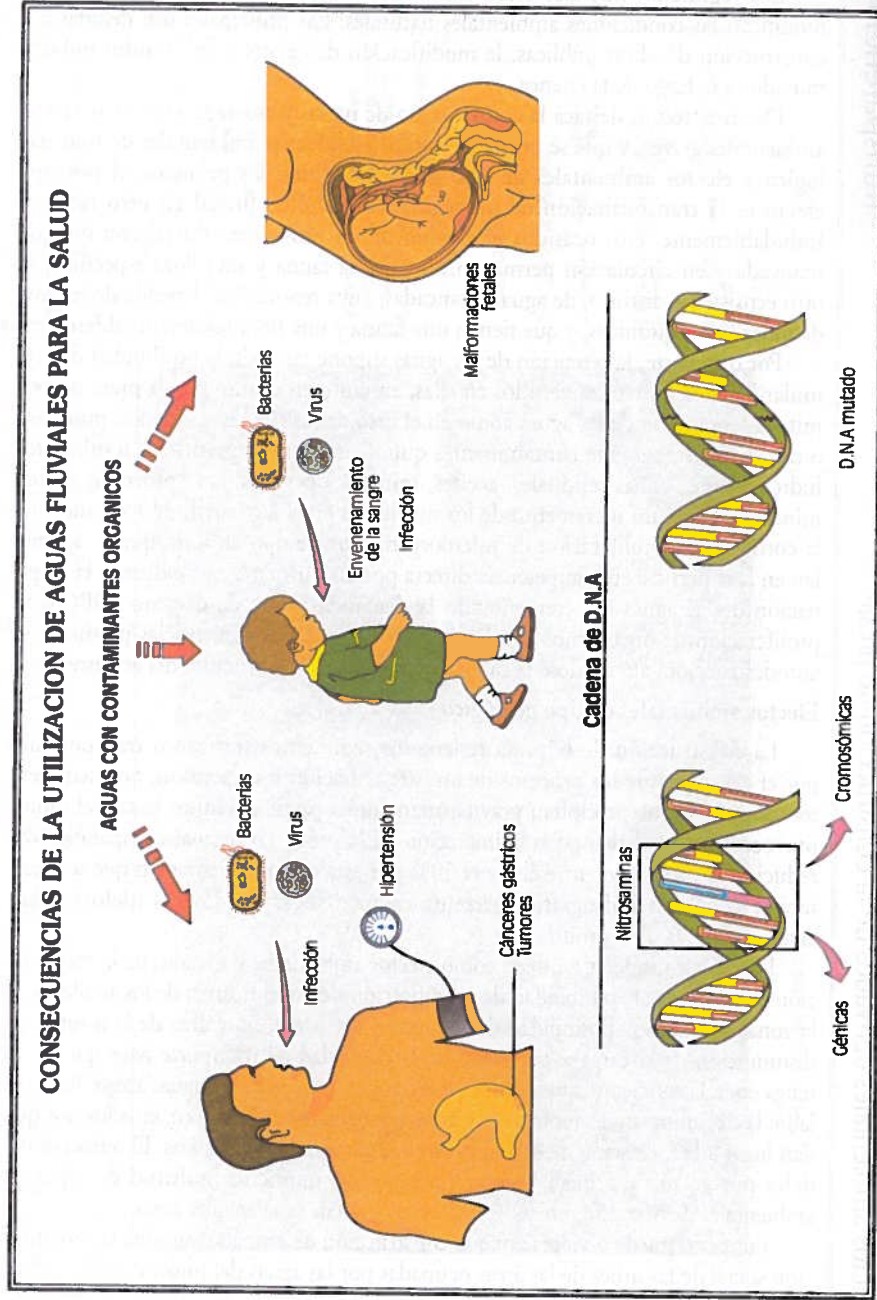
Por otra parte, la retención de las aguas supone también la posibilidad de acumular los contaminantes vertidos en ellas, en tanto en cuanto que la presa no permite la renovación de las aguas como en el caso de los ríos. Los vertidos, puntuales o difusos, normalmente contaminantes químicos del tipo: pesticidas, fertilizantes, hidrocarburos, aguas residuales, aceites, minerales pesados, etc., provocan en términos generales un incremento de los nutrientes en el lago artificial formado, con la consiguiente proliferación de microorganismos de tipo algáceo, que se acumulan en la superficie en competencia directa por los nutrientes, impidiendo la oxigenación de las aguas e incrementando la demanda básica de oxígeno (DBO). La proliferación de organismos con las mismas necesidades alimenticias producen su autodestrucción, alterándose la cadena alimenticia y la estructura del ecosistema.

Efectos ambientales de tipo geológico

La construcción de la presa retiene los sedimentos terrígenos transportados por el río mediante los procesos de arrastre, saltación y suspensión. Son sedimentos alogénicos que precipitan gravitatoriamente a partir del muro basal del dique, provocando con el tiempo la colmatación de la presa. Los embalses españoles ven reducida su capacidad entre el 5 y el 50% por esta causa; colmatación que se acelerará si la cuenca hidrográfica presenta características resistáxicas (deforestada), arruinándose la obra pronto.

Hay que considerar también como efectos ambientales derivados de la construcción de las presas, la posibilidad de modificación del nivel freático de los acuíferos de la zona, así como la posibilidad de inducción de sismos en el área de la misma. La disminución de la carga y por tanto de la capacidad de transporte hace que el río tenga energía suficiente, que emplea en erosionar y encajarse en aguas abajo. Por otro lado, la disminución de aportes terrígenos a la desembocadura, y en aquellos ríos que dan lugar a la formación de deltas, evita el desarrollo de los mismos. El retroceso del delta por acción marina y esas acciones llevan implícito multitud de aspectos ambientales de tipo económico, social y ecológico de estas frágiles áreas.

Tampoco puede olvidarse que la construcción de embalses supone la movilización social de las urbes de las áreas ocupadas por las aguas del mismo.



Consecuencias de la utilización de aguas fluviales para la salud

transparencia 48

Aguas fluviales y salud. Efectos generales

Las consecuencias que una utilización indiscriminada de las aguas fluviales –sobre todo cuando esas aguas o no se tratan o se hace de forma incorrecta– tiene para la salud humana son de diferentes tipos y de gravedad variable.

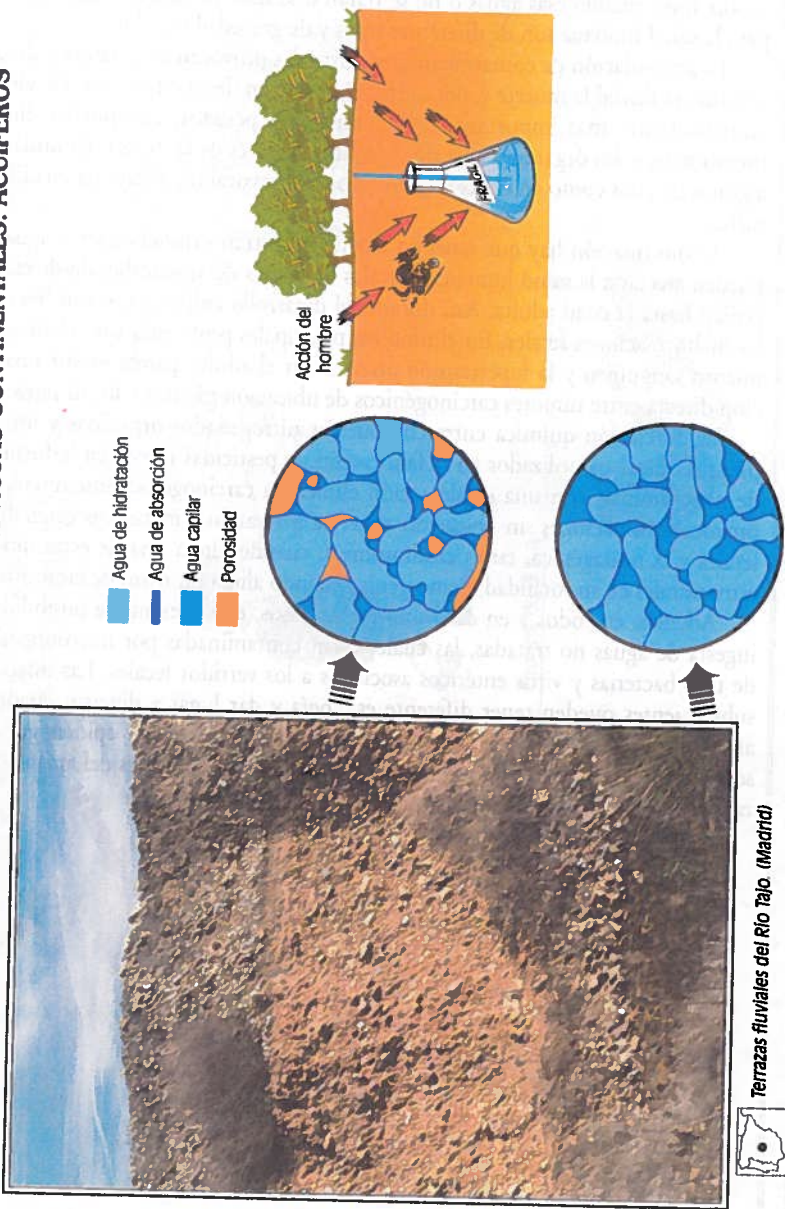
La acumulación de contaminantes industriales provocan en la fauna y flora del ecosistema fluvial la muerte y, por tanto, la alteración de su estructura. De ellos los contaminantes más importantes son los metales pesados, que pueden llegar a incorporarse a los órganos y aparatos humanos a través de la dieta y acumularse en algunos de ellos como en el caso de los riñones, provocando diferentes cuadros clínicos.

A continuación hay que tener en cuenta los nitratos disueltos en el agua, que pueden afectar a la salud humana en todas las etapas del desarrollo, desde el ontogénico hasta la edad adulta. Así, durante el desarrollo embrionario son frecuentes las malformaciones fetales. En el niño los principales problemas son, el envenenamiento sanguíneo y la hipertensión arterial. En el adulto parece existir una relación directa entre tumores carcinogénicos de ubicación gástrica y los nitratos.

La asociación química entre compuestos nitrogenados orgánicos y los compuestos químicos utilizados en la fabricación de pesticidas favorecen la formación de nitrosaminas, con una doble acción clínica: la carcinogénica diseminada, que provoca tumoraciones sin ubicación concreta derivando a metástasis generalizadas letales y la mutagénica, tanto cromosómica, cuando altera una de estas unidades estructurales en su totalidad, como génica cuando altera un trozo de cromosoma.

Además, en todos y en cada uno de los casos, está presente la posibilidad de ingesta de aguas no tratadas, las cuales están contaminadas por microorganismos de tipo bacterias y virus entéricos asociados a los vertidos fecales. Las infecciones subsiguientes pueden tener diferente etiología y dar lugar a diversos cuadros de afecciones infecciosas, todas ellas graves y a veces con carácter epidémico, como son: parálisis, gastroenteritis, hepatitis, meningitis, enfermedades del aparato respiratorio, enfermedades cutáneas, etc.

PROBLEMAS AMBIENTALES EN RELACION CON LAS AGUAS CONTINENTALES. ACUIFEROS



Terrazas fluviales del Río Tago (Madrid)

Problemas ambientales en relación con las aguas continentales. Acuíferos

transparencia 49

Acuíferos. Características y partes

Se entiende por acuífero: «aquellas rocas que debido a sus características texturales primigénicas, o las estructurales adquiridas con posterioridad a su génesis, son capaces de almacenar agua en su interior».

Para que sea posible la acumulación de agua en el interior de las rocas, éstas deben tener una porosidad que puede ser: primaria, si los huecos provienen del proceso diagénético original; o secundaria, si los huecos se han formado con posterioridad a la génesis de la roca. En ambos casos la porosidad se utiliza para almacenar agua. Por eso, las mejores rocas para la formación de acuíferos son las rocas sedimentarias detríticas, constituidas por clastos de tamaño medio y que sean texturalmente evolucionadas como son las areniscas y las arenas, que posean un cierto equilibrio entre los componentes detríticos de tamaño medio (arenoso) y los más finos (arcillosos).

En todo acuífero se puede diferenciar de arriba a abajo varias zonas en relación con el agua que puede almacenar. La más superficial, llamada zona de aireación, contiene un volumen de agua que está asociada a los componentes minerales de la roca. Es un agua de hidratación que no tiene posibilidad de circular, al ser retenida en la composición mineralógica. También hay que destacar otra porción de agua, llamada de absorción pelicular, que se retiene en la superficie de los minerales por enlaces químicos débiles, empapándolos. Este volumen de agua tampoco tiene capacidad de movimiento. Existen también fuerzas capilares y de tensión superficial, que retienen otra cantidad de agua alrededor de los poros y que de igual forma la impiden circular. Por último quedan los poros libres por donde circula el agua de gravedad, en flujos más o menos lentos, en una infiltración hacia los niveles más profundos del acuífero, donde se acumula progresivamente (zona de acumulación).

El nivel inferior del acuífero vendrá determinado por la capa impermeable que lo constituye, mientras que el nivel máximo alcanzado por el agua es el nivel freático, nivel que puede subir o bajar en función de la recarga o extracción que de forma natural o artificial sufra el acuífero, aumentando y disminuyendo la zona de aireación alternativamente según los casos.

Acuíferos como recurso

Los acuíferos constituyen un recurso natural de aguas continentales, de una importancia capital para el desarrollo futuro de la humanidad, pero extraordinariamente frágil a las propias acciones antrópicas, con resultados ambientales incalculables.