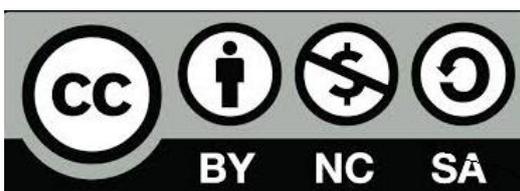


MEDIO AMBIENTE Y CONTAMIANCIÓN. PRINCIPIOS BÁSICOS

MARÍA DOLORES ENCINAS MALAGÓN



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

(CC BY-NC-ND 4.0)

Año de publicación : 2011

1ª edición

ISBN: 978-84-615-1145-7

INDICE

<u>TEMA 1. EL SISTEMA MEDIO AMBIENTE. CONTAMINACIÓN</u>	<u>3</u>
<u>TEMA 2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA</u>	<u>5</u>
2.1. LA ATMÓSFERA. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA	5
2.2. BALANCE ENERGÉTICO	10
2.3. PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	13
2.4. CALIDAD DEL AIRE	32
2.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	36
<u>TEMA 3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA</u>	<u>43</u>
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	43
3.2. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA	46
3.3. SUBSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA	47
3.4. CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES	52
3.5. DEPURACIÓN DE VERTIDOS	59
3.6. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	70
<u>TEMA 4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO</u>	<u>73</u>
4.1. PROPIEDADES DEL SUELO	73
4.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL SUELO	79
4.3. CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SUELO	83
4.4. RESIDUOS	86
4.5. DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.	94
<u>TEMA 5. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL</u>	<u>101</u>
5.1. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	101
5.2. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL O ECOGESTIÓN	108
5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)	115
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>119</u>

TEMA 1. EL SISTEMA MEDIO AMBIENTE. CONTAMINACIÓN

Se entiende por contaminación la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado. Esto es, un medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) estará contaminado si tiene algo (sustancias materiales, energía en forma de ruido, calor...) que provoca efectos negativos en él. Si ese algo no provoca efectos negativos, no se dirá que el medio está contaminado y, por supuesto, ese *algo* no será nunca un contaminante.

La contaminación del aire, la del agua y la del suelo están muy relacionadas entre sí y no se pueden separar. Como puede observarse en la figura 1, los contaminantes pasan fácilmente de un medio a otro, lo que complica la solución a los problemas de contaminación.

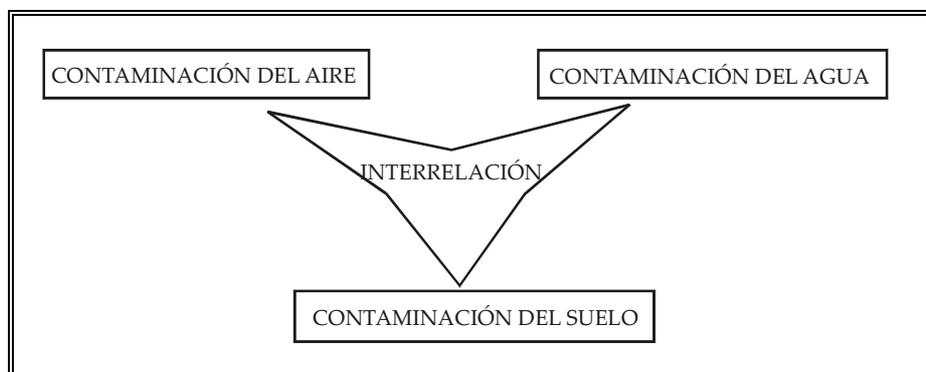


Figura 1. Esquema de relación existente entre la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo.

El esquema general del proceso de contaminación se muestra en la figura 2.

Los contaminantes son emitidos por las fuentes de emisión que pueden ser naturales o artificiales. Las fuentes artificiales a su vez pueden ser estacionarias o móviles (por ejemplo las industrias) o móviles (por ejemplo el tráfico). Estos contaminantes que son emitidos directamente por la fuente se conocen como contaminantes primarios y son emitidos con un flujo o nivel de emisión que es la velocidad a la que es emitido por la fuente y, por tanto, tiene unidades de masa por unidad de tiempo.

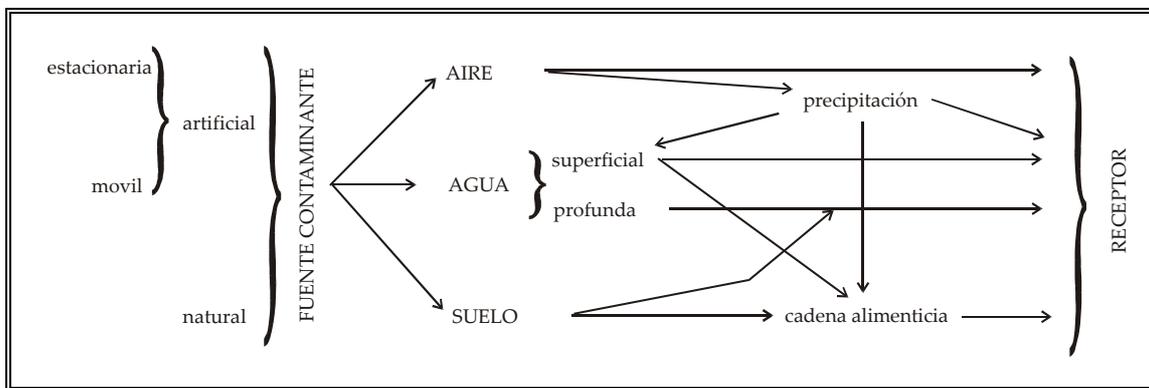


Figura 2. Esquema general del proceso de contaminación.

Una vez emitidos al medio (al aire, al agua o al suelo), los contaminantes sufren una serie de procesos, no solo transporte y dispersión, sino también reacciones químicas, convirtiéndose en los contaminantes secundarios.

La concentración de un contaminante, ya sea primario o secundario, después de ser dispersado es el nivel de inmisión y tiene unidades de masa por unidad de volumen.

Finalmente, los contaminantes alcanzan los receptores a través de diversos mecanismos (por la precipitación, por la cadena alimenticia, etc.) provocando diversos efectos en ellos.

TEMA 2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

2.1. LA ATMÓSFERA. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

2.1.1. COMPOSICIÓN

Los componentes naturales de la atmósfera se clasifican en mayoritarios (están en elevada concentración) y minoritarios (están en baja concentración).

Los gases naturales mayoritarios que componen la atmósfera son N₂, O₂, Ar y CO₂. En la tabla 1 se muestra la composición de la atmósfera limpia y seca por debajo de los 80 km.

Tabla 1. Composición de la atmósfera limpia y seca por debajo de los 80 km.

COMPONENTE	% (EN VOLUMEN)
N ₂	78.084
O ₂	20.946
Ar	0.934
CO ₂	0.033

Entre los componentes naturales minoritarios de la atmósfera se pueden citar como especies gaseosas el vapor de agua, el O₃, los óxidos de azufre y de nitrógeno,

COV... En la atmósfera también hay partículas en suspensión, como por ejemplo, el aerosol marino y el terrígeno, las bacterias, los granos de polen...

2.1.2. ESTRUCTURA

La atmósfera está estructurada en diversas capas (figura 3): troposfera, estratosfera, ionosfera y exosfera. La troposfera especialmente y, en cierta medida también, la estratosfera son las capas de la atmósfera donde tienen lugar los procesos de contaminación, desde la emisión hasta los efectos.

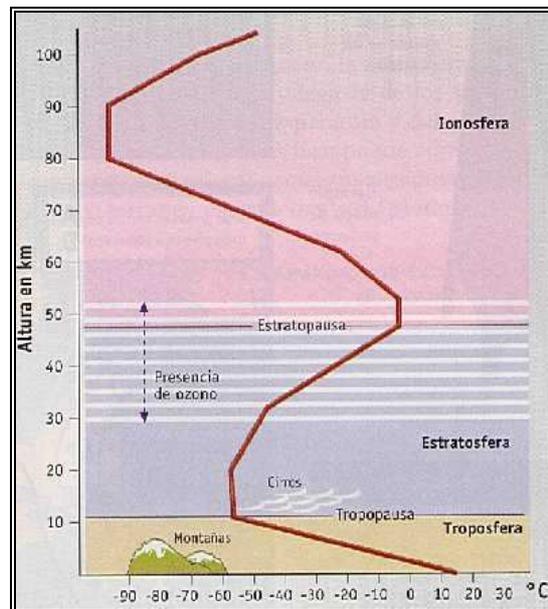


Figura 3. Estructura vertical de la atmósfera. Perfil de temperatura

A la capa límite que queda entre la troposfera y la estratosfera se le conoce como tropopausa. De igual forma, la que queda entre la estratosfera y la ionosfera es la estratopausa.

Las características en cuanto a composición, temperatura y régimen de vientos de la troposfera y estratosfera es la siguiente:

COMPOSICIÓN

En la troposfera (10 primeros km) la densidad del aire disminuye con la altura, debido a la fuerza de la gravedad. La mayor parte de los componentes de la atmósfera se encuentran concentrados en la troposfera, comprimidos por la gravedad. En los primeros 5.5 km se encuentra la mitad de la masa total de la atmósfera y antes de los 15 km de altura está el 95% de toda la masa total atmosférica. Entre los 30 y los 50 km de altura, es donde se encuentra el O₃ estratosférico. Es la famosa capa de ozono que actualmente está desapareciendo. Esta capa es la que nos protege de la radiación UV tan dañina que procede del sol. No hace mucho se empezaron a utilizar los clorofluorocarbonados, más conocidos como CFC. Eran unos compuestos muy estables, no inflamables, no venenosos, fáciles de almacenar y baratos de producir, que se usaban en refrigeradores, aerosoles, aparatos de aire acondicionado... Al cabo de un tiempo se comprobó que el cloro provoca importantes daños en la capa de ozono estratosférico.

PERFIL DE TEMPERATURA

En la troposfera, la temperatura disminuye con la altura a una velocidad de 1°C cada 100 m, hasta llegar a unos -60°C en la tropopausa. En la estratosfera la temperatura aumenta llegando a ser de 0°C en la estratopausa debido a la absorción de luz UV por el O₃ estratosférico.

RÉGIMEN DE VIENTOS

En la troposfera se producen importantes movimientos de las masas de aire, tanto verticales como horizontales: es el viento. También en esta capa hay abundancia de agua atmosférica ya que está muy cerca de la hidrosfera. Es, por tanto, donde se forman las nubes y donde tienen lugar fenómenos climatológicos como la lluvia, nieve, niebla, etc., los cuáles son precisamente los factores físicos que más afectan a la concentración de los contaminantes. En la estratosfera, no hay vientos verticales pero los vientos horizontales alcanzan frecuentemente los 200 km h⁻¹, lo que facilita los procesos de dispersión de los contaminantes que alcanzan esta capa.

2.1.3. INVERSIÓN TÉRMICA DE SUPERFICIE

Se define como la inversión del gradiente de temperatura en las capas cercanas al suelo durante el invierno.

En la troposfera, la temperatura tiene un gradiente negativo, es decir, disminuye a medida que aumenta la altura. En estas condiciones, los contaminantes, que se emiten generalmente a nivel del suelo y a altas temperaturas (la industria, el tráfico) difunden hacia las zonas de menor temperatura (es decir, ascienden), con lo cual se mezclan con más cantidad de aire, lo que lleva a su dispersión y dilución.

El fenómeno de inversión térmica de superficie se produce cuando se invierte el gradiente de temperatura en las capas cercanas al suelo, esto es, cuando pasa de ser negativo a positivo (figura 4). En este caso, los contaminantes no pueden ascender y, por lo tanto, no se dispersan, dando lugar a fenómenos de acumulación de contaminantes.

Durante el día en condiciones normales hay un gradiente negativo de temperatura y los contaminantes se dispersan. Cuando anochece, poco a poco se enfría el aire y también el suelo aunque de forma más lenta, lógicamente. Con lo cual sigue habiendo un gradiente negativo de temperatura y los contaminantes igualmente ascenderán y se dispersarán. Al amanecer, con la radiación solar, el aire se calienta rápidamente. Sin embargo, el suelo (y por supuesto sus capas más cercanas) le cuesta más tiempo. Se genera entonces un gradiente positivo de temperatura.

En verano la diferencia de temperatura entre el día y la noche no es muy elevada. El suelo se enfría poco por la noche y, en unas pocas horas, aumenta su temperatura, restableciendo así el gradiente negativo de temperatura. Sin embargo, en invierno, la diferencia de temperatura entre la noche y el día es a menudo bastante mayor. El suelo alcanza temperaturas muy bajas por la noche y el gradiente positivo de temperatura permanece durante varios días. Se produce la inversión térmica de superficie, que provoca que quede una capa de aire caliente entre dos capas de aire frío. Los contaminantes emitidos a nivel del suelo no pueden ascender y se acumulan en la capa fría inferior.

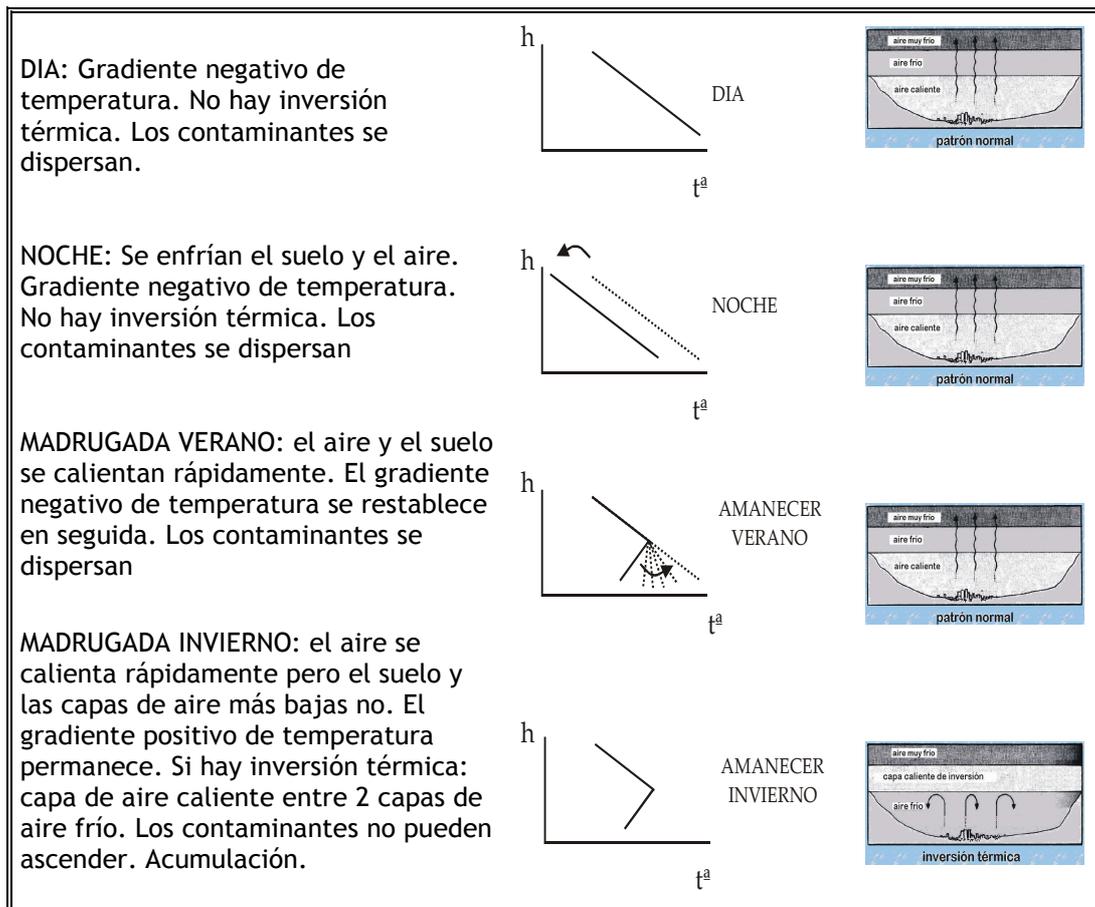


Figura 4. Proceso de inversión térmica de superficie.

Se pueden producir graves episodios de contaminación, como los ocurridos en Londres en 1952 y en Alemania en 1962. Había altas concentraciones de SO_2 y partículas en condiciones de inversión térmica de larga duración (de hasta 4 o 5 días) que provocaron la muerte de unas 4000 personas.

2.2. BALANCE ENERGÉTICO

La mayor parte de la energía que llega a la Tierra procede del Sol. El sol es una masa de materia gaseosa caliente que irradia energía a una temperatura de unos 6000°C, con un flujo de energía solar constante de $1.4 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$ (constante solar). Sin embargo sólo intercepta energía la sección de la Tierra que mira al Sol mientras que la emite toda la superficie terrestre. Así que para saber cuál es el flujo de energía real que nos llega a la Tierra hay que dividir la constante solar entre 4, es decir, 342 W m^{-2} .

La radiación que emite el sol cubre todo el espectro electromagnético (figura 5), es decir, todo el conjunto de ondas electromagnéticas desde los rayos gamma con longitudes de onda (λ) de 0.005 nm a las ondas de radio con λ de $15 \cdot 10^{12}$ nm, pasando por los rayos X, UV, V, IR y microondas.

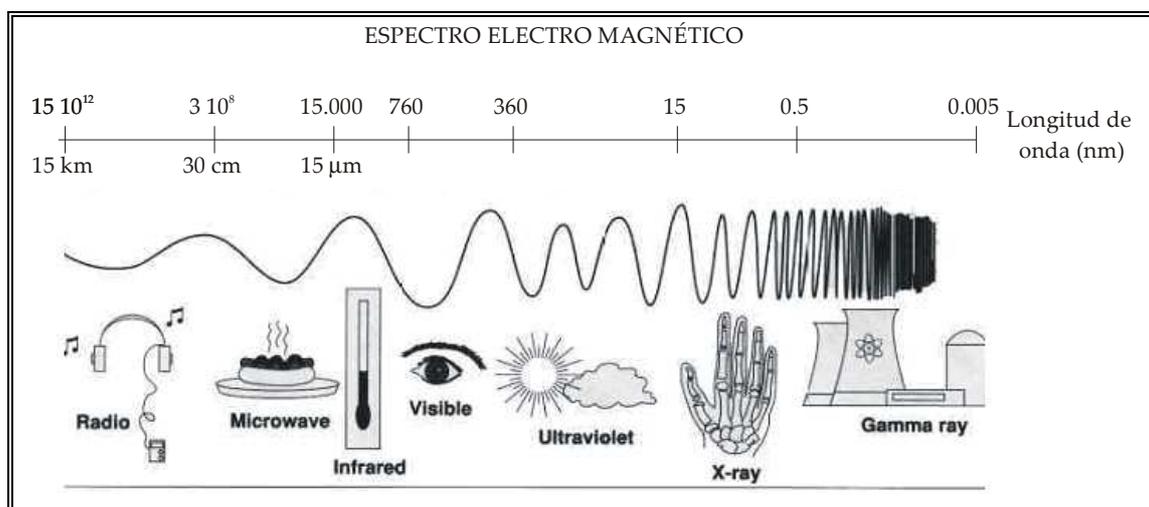


Figura 5. El espectro electromagnético.

La energía de una radiación electromagnética es inversamente proporcional a su λ (o directamente proporcional a su frecuencia, ν). Por tanto, aquellas radiaciones con λ largas (bajas ν) como las ondas de radio o microondas son muy poco energéticas, no pueden penetrar en los materiales y no pueden provocar daños. Solo tienen efectos superficiales. Sin embargo, las radiaciones con λ cortas (altas ν) como

por ejemplo los rayos X o radiaciones γ son muy energéticas y son capaces de atravesar con cierta facilidad los materiales poco densos y provocar daños.

Existen tres fenómenos que modifican el curso del flujo solar:

- **DISPERSIÓN:** Ocurre cuando las partículas pequeñas y las moléculas de gases difunden parte de la radiación solar, sin alterar su longitud de onda.
- **ABSORCIÓN:** fenómeno que consiste en la transferencia de la energía de la radiación a los constituyentes atmosféricos. Ocurre cuando algunos gases son capaces de absorber parte de la radiación solar y convertirla en calor. La absorción de energía calorífica por los gases hace que éstos emitan también su propia radiación, pero de longitudes de onda mayores, en el infrarrojo. Los gases que realizan la absorción son el O_2 , el vapor de H_2O , el O_3 y el ácido carbónico principalmente.
- **REFLEXIÓN:** consiste en que una parte de la radiación solar incidente es devuelta al espacio. Este fenómeno se debe, en gran medida, a las nubes y partículas presentes en la atmósfera. Cabe señalar que la cantidad de energía reflejada de forma global (nubes, difusión y reflexión de la superficie terrestre) se denomina albedo.

Se estima que, en un día con cielo despejado, de los 342 W m^{-2} que llegan a la atmósfera:

- El 23% (78.66 W m^{-2}) es absorbido (2% en la estratosfera por el oxígeno y el ozono estratosférico y 21% en la troposfera, especialmente por el agua y las partículas de polvo).
- El 20% (68.4 W m^{-2}) es reflejado y difundido hacia el espacio exterior (10% por el aire y 10% por el suelo)
- El 57% (194.94 W m^{-2}) es absorbido por el suelo.

Si se trata de un día nublado, estos porcentajes cambian de manera sustancial:

- El 21% (71.82 W m^{-2}) es absorbido por la atmósfera (2% en la estratosfera por el

oxígeno y el ozono estratosférico, 2% por las nubes y 17% es la troposfera por el agua y las partículas de polvo).

- El 34% (116.28 W m^{-2}) es reflejado hacia el espacio exterior (25% por las nubes, 2% por el suelo y 7% por el aire).
- El 45% (153.9 W m^{-2}) llega a la superficie terrestre.

De toda la energía emitida por el sol, aproximadamente el **99%** corresponde a las regiones UV (ultravioleta), V (visible) e IR (infrarrojo):

- **UV ($15 \text{ nm} < \lambda < 360 \text{ nm}$).**

Representa el 9% de la radiación total emitida. Es bastante energética, por lo que puede provocar cambios en los enlaces moleculares, especialmente las de $\lambda < 300 \text{ nm}$ que pueden alterar la estructura del ADN. Sin embargo, la mayor parte de esta radiación no llega a la superficie terrestre porque el O_2 de las capas altas de la atmósfera absorbe la radiación de menos de 200 nm convirtiéndose en O_3 . A su vez, el O_3 absorbe la radiación de hasta 300 nm, por lo que, gracias al O_2 y al O_3 , la Tierra se encuentra protegida contra la radiación UV. (De ahí la alarma surgida al comprobar que el O_3 estratosférico estaba disminuyendo su concentración por efecto de algunos contaminantes).

- **V ($360 < \lambda < 760 \text{ nm}$)**

Representa el 43% de la radiación total emitida. Esta radiación atraviesa fácilmente la atmósfera cuando está limpia, pero cuando hay nubes o masas de polvo parte de esta radiación es absorbida o reflejada.

- **IR ($760 \text{ nm} < \lambda < 15000 \text{ nm}$)**

Representa el 48% de la radiación total emitida. Es poco energética, por lo que su efecto sobre los materiales consiste en aumentar la agitación de las moléculas, es decir, provoca calor y produce aumento de temperatura. Es absorbida por el vapor de H_2O , las nubes y el CO_2 .

2.3. PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La Ley 3/98, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco define la contaminación atmosférica como la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

El proceso de contaminación atmosférica se desarrolla en tres pasos fundamentales: emisión, procesos y efectos.

En primer lugar tiene lugar la emisión del contaminante al aire con una velocidad o nivel de emisión, que es la masa de contaminante que emite una fuente por unidad de tiempo. Seguidamente, los contaminantes sufren los procesos de dispersión, transporte y transformación en el aire, de donde resulta el nivel de inmisión o masa del contaminante en el aire en un punto lejano a la fuente por m³ de aire. Finalmente, los contaminantes se depositan en las superficies receptoras dando lugar a los efectos.

Por ejemplo, el proceso de contaminación que seguiría el gas SO₂ emitido a través de la chimenea de una empresa sería el siguiente (figura 6).

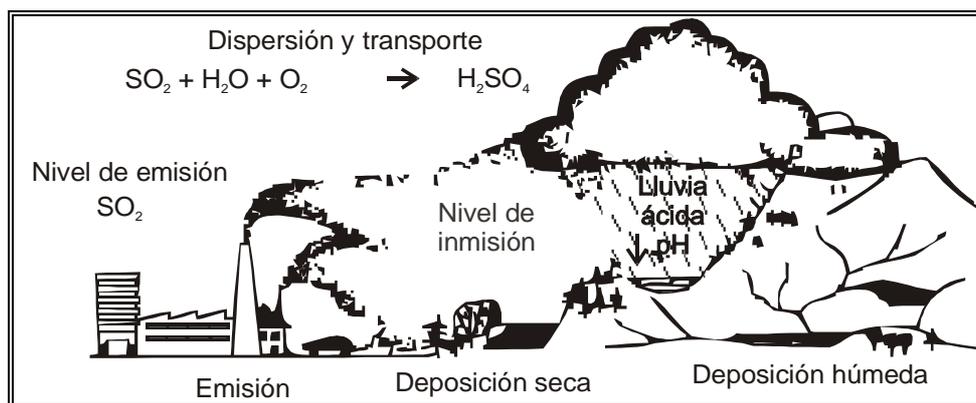


Figura 6. Proceso de contaminación atmosférica (emisión, transporte/dispersión/dilución/reacciones químicas, deposición/efectos) del óxido de azufre emitido por la chimenea de una industria.

Una vez emitido al aire (lo que dará lugar al nivel de emisión, g de SO₂ por hora), se produce la dispersión y el transporte del penacho, y, por consiguiente, la dilución del contaminante. La concentración de SO₂ en un punto lejano a la fuente es su nivel de inmisión (µg de SO₂ por m³ de aire). Durante el proceso de dispersión tienen lugar, además, las lógicas reacciones de oxidación que el SO₂ va a sufrir al encontrarse con una atmósfera oxidante. Se oxidará a SO₃ y se transformará en H₂SO₄. En este ejemplo, el SO₂ sería un contaminante primario y el H₂SO₄ sería un contaminante secundario. Finalmente, el contaminante o su producto de reacción, se deposita sobre los sistemas receptores, dando lugar a los efectos.

Las unidades para expresar el nivel de inmisión de un contaminante son las siguientes:

- masa del contaminante por unidad de volumen de aire
 mg m^{-3} (10^{-3}), $\mu\text{g m}^{-3}$ (10^{-6}), ng m^{-3} (10^{-9})
- volumen de contaminante por unidad de volumen de aire
 $\text{ppm (ml m}^{-3}\text{)}$ (10^{-6}), $\text{ppb (}\mu\text{l m}^{-3}\text{)}$ (10^{-9})

y la transformación de una a otra se lleva a cabo teniendo en cuenta la ley de los gases perfectos, según el esquema siguiente:

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ l}_x}{10^6 \text{ l}_{\text{aire}}} \frac{1 \text{ mol}_x}{24.0 \text{ l}_x} \frac{\text{Pm g}_x}{1 \text{ mol}_x} \frac{10^6 \mu\text{g}_x}{1 \text{ g}_x} \frac{1 \text{ l}_{\text{aire}}}{1 \text{ dm}^3_{\text{aire}}} \frac{10^3 \text{ dm}^3_{\text{aire}}}{1 \text{ m}^3_{\text{aire}}}$$

$P V = n R T$
 $\left. \begin{array}{l} \nearrow 20^\circ\text{C} \\ \text{c.n.} \\ \searrow 1 \text{ atm} \end{array} \right\} 1 \text{ mol}_x = 24.0 \text{ l}_x$

$$1 \text{ ppm} = \frac{\text{Pm}}{24.0} \frac{10^3}{\text{m}^3_{\text{aire}}} \frac{\mu\text{g}_x}{\text{m}^3_{\text{aire}}}$$

La UE está realizando verdaderos esfuerzos para reducir los niveles de inmisión de algunos contaminantes. En el año 96 promulgó la Directiva 96/62/CE en la que obliga a los países miembros a reducir paulatinamente sus niveles de inmisión. El estado español ha transpuesto esta directiva en el “*Real Decreto 1073/02, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono*”.

2.3.1. CONTAMINANTES ATMOSFERICOS. FUENTES. CLASIFICACIÓN

Se define contaminante atmosférico como todo elemento o compuesto químico, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire, y que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Puede estar en forma de sólida, líquida o gaseosa.

Se define el nivel base (también llamada concentración base o background) de un contaminante a la concentración que presenta ese contaminante en un medio no contaminado. Se determina midiendo su concentración en lugares remotos, por ejemplo, en el polo norte. La tabla 2 contiene la concentración base (extraída del “*Air Quality Guidelines*”, del año 2005 publicado por la OMS) y la concentración típica de ambientes contaminados para algunos contaminantes.

Tabla 2. Concentración base (según el “*Air Quality Guidelines*” del año 2005 publicado por la OMS) y concentración típica de ambientes contaminados.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN BASE	AIRE CONTAMINADO
SO ₂	5 - 25 µg m ⁻³ (1.8 - 8.8 ppb)	52.2 - 5224.5 µg m ⁻³
CO ₂	0.648 g m ⁻³ (330 ppm)	0.63 - 1.26 g m ⁻³
CO	60 - 140 µg m ⁻³ (4.8 - 11.2 ppb)	0.19 - 0.25 g m ⁻³
NO ₂	0.4 - 9.4 µg m ⁻³ (0.2 - 4.6 ppb)	18.8 - 938.8 µg m ⁻³
Hidrocarburos (como hexano)	3.2 mg m ⁻³ (0.9 ppm)	3.2 - 63.7 mg m ⁻³
Partículas	10 µg m ⁻³	70-700 µg m ⁻³

2.3.2. FUENTES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Las fuentes de contaminación atmosférica pueden ser naturales o artificiales (también antropogénicas) según intervenga o no la actividad humana. Las artificiales además pueden ser fijas o móviles. La tabla 3 muestra las principales fuentes de contaminación atmosférica.

Con el objeto de comparar de ambos tipos de fuentes, se presenta en la tabla 4 el porcentaje de emisiones naturales y antropogénicas para algunos contaminantes.

Las cifras muestran la gran importancia que tienen las fuentes naturales frente a las artificiales para todos los contaminantes, excepto para el SO₂ en que casi se igualan ambos tipos de fuentes y para el NO₂ que es totalmente antropogénico

Tabla 3. Principales fuentes de contaminación atmosférica.

FUENTES NATURALES	FUENTES ARTIFICIALES	
	FIJAS	MÓVILES
Volcanes Incendios forestales por rayos Plantas en descomposición (agua y suelo) Océanos Suelo Tormentas eléctricas	Centrales térmicas Centrales nucleares Procesos industriales Incineración de residuos Calefacciones domésticas Quema de la biomasa	Vehículos diesel Vehículos gasolina Sin plomo

Tabla 4. Porcentaje de emisiones naturales y antropogénicas.

FOCOS DE EMISIÓN		
CONTAMINANTE	NATURALES (%)	ANTROPOGÉNICOS (%)
Aerosol	88.7	11.3
SO ₂	57.1	42.9
CO	90.6	9.4
NO	88.7	11.3
Hidrocarburos	84.5	15.5
NO ₂	-	100

La tabla 5 contiene los porcentajes de contaminantes que emiten las principales fuentes antropogénicas.

Tabla 5. Porcentaje de contaminantes emitidos por las principales fuentes antropogénicas.

CONTAMINANTE	FUENTES ANTROPOGÉNICAS EN %				
	INDUSTRIAL	COMBUSTIÓN EN FUENTES FIJAS	TRANSPORTE	DISOLVENTES ORGÁNICOS	INCENDIOS AGRÍCOLAS
Aerosol	51	26			
SO ₂	18	78			
CO			75		9
NO					
Hidrocarburos	16		56	9	
NO ₂		44	52		

2.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Hay muchas formas de clasificar los contaminantes, en función de la fuente de la que proceden, en función de de su composición.

2.3.3.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FUENTE

Según la fuente los contaminantes se clasifican en dos grupos:

- **PRIMARIOS:** proceden directamente de la fuente
- **SECUNDARIOS:** se originan en el aire por reacciones químicas entre dos o más contaminantes primarios, o entre contaminantes primarios y constituyentes naturales de la atmósfera.

En la tabla 6 están representados los diferentes contaminantes primarios y secundarios, junto con su principal fuente de contaminación.

Tabla 6. Contaminantes primarios y secundarios y principal fuente de contaminación.

TIPO	PRIMARIO	SECUNDARIO	FUENTES MAYORITARIAS ARTIFICIALES
Azufre Nitrógeno Orgánicos	SO ₂ , H ₂ S NO, NH ₃ C ₁ -C ₃	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MeSO ₄ NO ₂ , MeNO ₃ Aldehídos, cetonas, ácidos	Carburantes con S Combustión a altas temperaturas Combustión, refinado de petróleo, disolventes
Carbono Halógenos	CO, CO ₂ HF, HCl	Ninguno Ninguno	Combustión Industrias metalúrgicas

2.3.3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA COMPOSICIÓN

Según su composición los contaminantes se pueden clasificar en distintos grupos:

- Compuesto de C: CO y CO₂
- Compuestos de S: SO₂, SO₃, SH₂
- Compuestos de N: N₂O, NO_x, NH₃
- Partículas y aerosoles
- Metales pesados: Meⁿ⁺
- Hidrocarburos: CH₄
- Oxidantes fotoquímicos: O₃ troposférico y estratosférico
- Sustancias radiactivas: Rn²²², I¹³¹, Cs¹³⁷ ...

2.3.3.2.1. COMPUESTOS DE CARBONO

Incluyen primarios CO₂ y el CO. No hay contaminantes secundarios.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Es el contaminante primario más abundante en la troposfera. Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es estable ($t_{1/2} = 2 - 4$ meses). No es soluble en agua. Es un agente reductor y su concentración background es 60 - 140 $\mu\text{g m}^{-3}$ (4.8 - 11.2 ppb).

FUENTES

- Oxidación de CH₄
- Gases volcánicos: (erupciones volcánicas)
- Incendios forestales
- Tormentas eléctricas
- Océanos: las algas y otras fuentes biológicas aportan CO al agua que se libera a la atmósfera
- Quema de la biomasa
- Combustión incompleta de compuestos de carbono, debido a un déficit de O₂.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO₂ y C, típica de procesos industriales como por ejemplo en los altos hornos.
- Disociación del CO₂ a temperaturas altas, por ejemplo, en los vehículos o en la incineración de residuos.
- Oxidación de hidrocarburos emitidos por el transporte y por los disolventes industriales

EFFECTOS

- Es tóxico para los animales porque en concentraciones superiores a 0.86 g m⁻³ se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre para formar la carboxihemoglobina, y reduce su capacidad de transportar O₂.
- Afecta a las plantas si su concentración supera las 0.11 g m⁻³.

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- El CO se elimina por su oxidación a CO₂ por los radicales OH o por el O₂ del aire pero esta última reacción es muy lenta.
- El suelo es un sumidero de CO debido a los hongos. Se han encontrado hasta 14 especies de hongos que usan CO para sus procesos biológicos
- Las plantas superiores poseen capacidad de absorción de CO
- Deposición seca

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro y muy soluble en agua. Solo es considerado contaminante cuando se encuentra en concentraciones elevadas. Su t_{1/2} oscila entre 50 y 200 años y su concentración background es 0.648 μg m⁻³ (330 ppm).

FUENTES

- Erupciones volcánicas

- Incendios forestales
- Respiración de los seres vivos
- Quema de la biomasa
- Oxidación de CO
- Combustión completa de compuestos con C

EFFECTOS

- No es realmente tóxico salvo que su concentración sea muy elevada. Si se inhala o ingiere en cantidades elevadas puede producir:
 - Asfixia: puesto que en atmósferas con elevadas concentraciones de CO₂ hay concentraciones bajas de O₂.
 - Congelación: El contacto con CO₂ durante unos 2 segundos sin protección puede provocar graves ampollas, y otros efectos indeseados en la piel.
 - Daños renales o coma, ya que puede alterar el equilibrio químico del tampón carbonato.
- Efecto invernadero.

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Fotosíntesis de plantas microscópicas en el océano. El mar absorbe, de hecho, más del 85 % del CO₂ liberado a la atmósfera.
- La fotosíntesis de las grandes masas boscosas.
- Deposición húmeda
- Deposición seca

2.3.3.2.2. COMPUESTOS DE AZUFRE

Incluyen SO₂ y H₂S como contaminantes primarios y SO₃, H₂SO₄ y sulfatos metálicos como secundarios. El SO₂ es el que se emite en mayor cantidad y el SO₃ el que se emite en menor cantidad.

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

Es un gas incoloro, no inflamable y bastante estable. Su t_{1/2} es de 2 a 4 días. Es muy soluble en agua y tiene un importante poder reductor. Su concentración background es 5 - 25 µg m⁻³ (1.8 - 8.8 ppb).

FUENTES

- Combustión de combustibles fósiles
- Erupciones volcánicas
- Incendios forestales
- Reducción de SO_4^{2-} en aguas y suelos escasos de oxígeno
- Incineración de residuos
- Quema de la biomasa
- Oxidación de OCS (sulfuro de carbonilo) producido en el mar, con el radical O.
- Oxidación del H_2S por parte del O atómico, O_2 y O_3
- Oxidación del dimetilsulfuro (DMS), H_2S y CS_2 por el radical OH, en la troposfera.
- Procesos de elaboración industrial: operaciones de fundición por el uso de muchos sulfuros

EFFECTOS

- Se oxida e hidrata hasta formar H_2SO_4 con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida
- Salud: Produce una sensación de quemazón, sequedad y dolor en nariz y garganta. Produce una abundante secreción que puede ser sanguinolenta, hemorragias nasales, tos, lagrimeo y pinchazos en los ojos, además de ardor de estómago, náuseas, dolor torácico y dificultad al respirar.
- En las plantas produce necrosis apicales de color rojo o anaranjado, causada por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Deposición húmeda (rainout o washout)
- Deposición seca: adsorción en materiales e incorporación al metabolismo de las plantas
- Oxidación a SO_4^{2-}

TRIÓXIDO DE AZUFRE (SO_3)

Es un gas muy reactivo que condensa fácilmente para dar H_2SO_4 , por lo que en condiciones normales no se encuentra presente en la atmósfera. Es muy oxidante

FUENTES

- Combustión de combustibles fósiles

- Algunos procesos industriales
- Oxidación de SO_2
- Reacción fotoquímica de SO_2

EFFECTOS

- Reacciona con el agua atmosférica para formar H_2SO_4 con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida.

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Deposición húmeda (rainout o washout)

SULFURO DE HIDRÓGENO (SH_2)

Es un contaminante primario con un $t_{1/2}$ de 4.4 días

FUENTES

- Proceso de descomposición de vegetales
- Combustión con defecto de O
- Procesos industriales

EFFECTOS

- Se oxida e hidrata hasta formar H_2SO_4 con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Se oxida rápidamente a SO_2 (en menos de 1 día) por el O_2 y O_3

2.3.3.2.3. COMPUESTOS DE NITRÓGENO

Incluyen fundamentalmente el óxido nitroso (N_2O), el nítrico (NO) y el NH_3 como primarios y el NO_2 , el NH_4^+ y los nitratos metálicos como secundarios.

Casi todo el N_2O atmosférico procede de fuentes naturales, el NO procede tanto de fuentes naturales como antropogénicas y el NO_2 emitido al aire es fundamentalmente antropogénico.

ÓXIDO NITROSO (N_2O)

No es contaminante porque en la troposfera es inerte y su $t_{1/2}$ es de 170 años

FUENTES

- Degradación del N proteico en el suelo debido a microorganismos.
- Reacción del N₂ con el O₂ y el O₃ en la alta atmósfera.
- Procesos industriales

EFFECTOS

- Las reacciones fotoquímicas que sufre influyen en la destrucción de la capa de O₃
- Efecto invernadero

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Reacciones fotoquímicas en la estratosfera
- Reacción con el O atómico para dar NO y NO₂, aunque es una reacción muy lenta (meses).

NO_x (CONJUNTO DE NO y NO₂)

El NO y el NO₂ se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x ya que el NO sufre una rápida oxidación a NO₂, siendo éste el que predomina en la atmósfera. El NO es un gas incoloro, inodoro y no inflamable. Es tóxico e insoluble en agua. El NO₂ es un gas de olor axfisante y no inflamable. Es tóxico y muy soluble en agua. Tiene una concentración background de 0.4 - 9.4 µg m⁻³ (0.2 - 4.6 ppb) y un t_{1/2} inferior a 2 días.

FUENTES

- El NO se produce en procesos biológicos y por fijación del N₂ al O₂ atmosférico
- El NO₂ se produce en las descomposiciones biológicas.
- Descomposición de los nitratos del suelo
- Incendios forestales
- Erupciones volcánicas
- Tormentas eléctricas
- Quema de biomasa
- Incineración de residuos
- Combustión a altas temperaturas, por reacción entre el N y el O, en generadores de calor y vehículos.
- Procesos industriales de compuestos nitrogenados, fertilizantes y explosivos.
- Oxidación fotoquímica del NO mediante reacciones con el O₃, ciertos hidrocarburos y O₂

EFFECTOS

- Se oxida e hidrata hasta formar HNO_3 con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida
- Formación del smog fotoquímico
- Influye en las reacciones de formación y destrucción del O_3 , tanto troposférico como estratosférico
- En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Deposición húmeda (rainout o washout)
- Deposición seca (procesos de absorción)

AMONIACO (NH_3)

Es un gas muy irritante, incoloro y muy soluble, con bajos niveles de emisión

FUENTES

- Descomposición de sustancias vegetales y animales
- Procesos aerobios en el suelo
- Quema de la biomasa
- Procesos industriales

EFFECTOS

- Es tóxico para los animales

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Absorción en superficies húmedas para formar NH_4^+
- Reacción con ácidos tanto en fase gaseosa como acuosa
- Oxidación a NO_3^- .

2.3.3.2.4. PARTÍCULAS Y AEROSOLES

El aerosol atmosférico se define como la suspensión de partículas sólidas o líquidas en el aire. Las partículas en la atmósfera pueden tener diámetros comprendidos entre $0.002 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$. El límite inferior, $0.002 \mu\text{m}$, es bastante discutible porque no existe un criterio aceptado según el cual un agregado molecular pueda ser considerado partícula o no. No obstante, este es el menor tamaño de partícula que se ha logrado detectar hasta ahora. El límite superior, $100 \mu\text{m}$,

corresponde al tamaño de la arena muy fina. Existen partículas mayores en la atmósfera, como por ejemplo, las gotas de lluvia con 1 mm de diámetro aproximadamente, o el granizo de 1-20 mm, pero su elevadísima velocidad de deposición las excluye, para cualquier propósito, de la definición de partículas.

Las partículas se clasifican en tres rangos de tamaños (figura 7): modo de los núcleos Aitken con diámetros de hasta $0.8 \mu\text{m}$, modo de acumulación con diámetros comprendidos entre 0.8 y $2 \mu\text{m}$ y el modo de sedimentación con diámetro superior a $2 \mu\text{m}$.

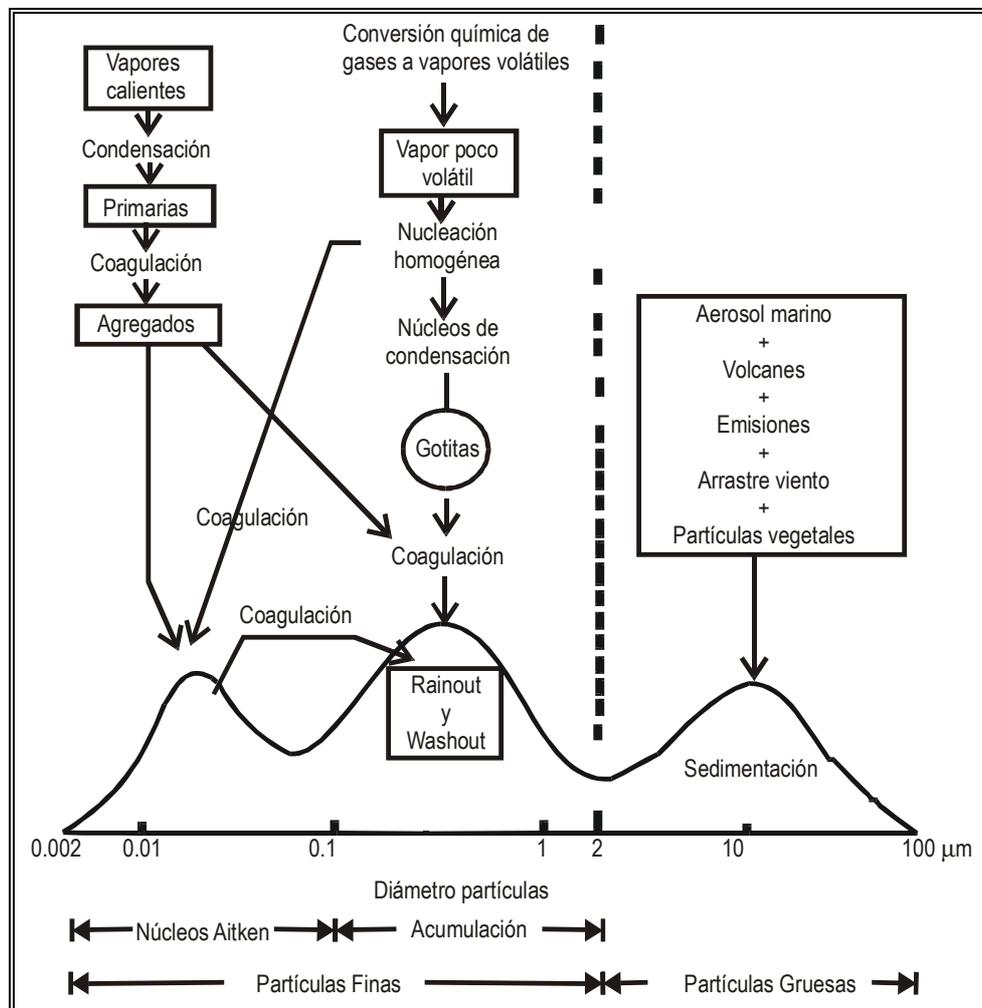


Figura 7. Distribución de tamaños del aerosol atmosférico

Los dos primeros rangos de tamaños (núcleos Aitken y acumulación) están muy relacionados entre sí y poseen características bastante similares. De hecho, las partículas en el modo de núcleos Aitken pueden coagular entre sí, y crecer hasta convertirse en una partícula en el modo de acumulación. Por eso se le llama modo de acumulación. Ambos modos se agrupan bajo el nombre de partículas finas. Sin embargo, no hay ningún tipo de relación importante entre los modos más pequeños y las partículas sedimentables, las cuáles se denominan también partículas gruesas.

FUENTES, EFECTOS Y FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Las partículas finas proceden fundamentalmente de la fuente antropogénica, como son los procesos de conversión gas-partícula a temperatura ambiente y los procesos de combustión. Como consecuencia, las especies iónicas solubles características de estas fuentes son los iones NO_3^- , SO_4^{2-} y NH_4^+ . Debido a su pequeño tamaño, estas partículas no pueden depositarse rápidamente y se eliminan de la atmósfera por deposición húmeda (rainout o washout). Estas partículas debido a su tamaño, pueden penetrar en el tracto respiratorio provocando numerosos problemas respiratorios. Además son también responsables de la reducción de la visibilidad.
- Las partículas gruesas se generan normalmente por procesos mecánicos (viento, erosión, etc.). Pertenecen a este rango, por ejemplo, el aerosol marino (con los iones Cl^- , Na^+ y Mg^{2+} como especies características) o el aerosol terrígeno (con los iones Al^{+3} , Si^{+4} , Ca^{2+} y Mg^{2+} como especies características). Como consecuencia de su origen, estas partículas son relativamente grandes y, por lo tanto, se eliminan por deposición seca o húmeda (washout). No tienen efectos sobre la salud puesto que se depositan rápidamente. Sus efectos principales están en la corrosión de materiales y en los procesos del suelo alterando su equilibrio.

2.3.3.2.5. METALES PESADOS

Muchos metales pesados son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Se hallan presentes en la atmósfera en muy bajas

concentraciones (por ejemplo el plomo tiene una concentración background inferior a $0.15 \mu\text{g m}^{-3}$). En el aire tienen un $t_{1/2}$ medio de 7 a 30 días, pero en el suelo, agua o en los seres vivos son muy persistentes y se acumulan convirtiéndose en contaminantes primarios, tóxicos y peligrosos. Entre los más dañinos están el Hg y el Pb

FUENTES

- Erupciones volcánicas
- Pesticidas inorgánicos. Ya no se usan, pero como son muy persistentes, sigue habiendo lugares con concentraciones altas de estos productos.
- Abonos
- Lixiviación en los vertederos
- Los vehículos: gasolinas con Pb
- Procesos industriales

EFFECTOS

- Algunos metales pueden acumularse en la cadena trófica debido a que no se degradan en la naturaleza, ni química ni biológicamente, por lo que, pueden provocar graves daños en la salud a pesar de sus bajas concentraciones.
- Algunos compuestos orgánicos del plomo atmosférico son absorbidos por el hombre, principalmente a través del sistema respiratorio, afectando a los huesos, a la inteligencia de los niños, a los fetos de las madres gestantes y al sistema nervioso
- Afectan al crecimiento de las plantas

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Deposición húmeda (rainout o washout)
- Deposición seca de las partículas que los contienen

2.3.3.2.6. HIDROCARBUROS

Son contaminantes primarios y se suelen clasificar en CH_4 e HCNM (hidrocarburos no metano). En general, proceden de fuentes naturales, la mayoría de las cuáles implican procesos biológicos, pero también se originan por actividades humanas, sobre todo las relacionadas con el petróleo y sus derivados. La concentración background de hidrocarburos (expresados como metano) es 3.2 mg m^{-3} (0.9 ppm).

METANO (CH₄)

Es el más abundante e importante de los hidrocarburos atmosféricos. Es un contaminante primario incoloro e insoluble en agua. Su $t_{1/2}$ es de 5 a 10 años.

FUENTES

- Descomposición anaerobia de materia orgánica: El metano es producido por microbios que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica. En los medios en los que actúan estos microbios son muy variados:
 - En las minas de carbón donde se le conoce como el gas grisú, en las instalaciones defectuosas de extracción de gas natural (el 90 % del cual es metano) y en los gasoductos construidos para su transporte
 - En el estómago de un rumiante, el interior de un estercolero, un campo inundado para el cultivo de arroz o el fondo de una marisma, en los pantanos (donde se le conoce como gas de los pantanos)
- Incendios forestales
- Vegetación: las hojas vivas de los árboles y de las plantas emiten metano
- Vertederos
- Quema de la biomasa
- Procesos de combustión, refinado y transporte del petróleo y sus derivados

EFFECTOS

- Efecto invernadero
- Interviene en las reacciones estratosféricas
- No produce daños en la salud ni en los seres vivos

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Reacción con los radicales OH y con el O atmosférico, formando radicales metilo.
- Deposición seca

2.3.3.2.7. OXIDANTES FOTOQUÍMICOS

El O₃ es el principal oxidante atmosférico. Cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera. El O₃ estratosférico absorbe las letales radiaciones UV que nos llegan del sol, mientras que el O₃

troposférico es un importante contaminante secundario.

O₃ TROPOSFÉRICO

Es un gas azulado, corrosivo e irritante. Debido a su carácter de oxidante fuerte, es bastante inestable (solo es estable a altas temperaturas). Su concentración background es 20 - 50 $\mu\text{g m}^{-3}$ (10 - 50 ppb).

FUENTES

- Reacción de los NO_x naturales con los COV biogénicos en presencia de radiación solar (fotoquímicas)
- Incursiones del O₃ estratosférico
- Descargas eléctricas en las tormentas
- La fotooxidación de CH₄ y CO en presencia de NO_x

EFFECTOS

- Es el componente más dañino del smog fotoquímico,
- Causa daños importantes a la salud ya que afecta a la mucosa
- Efecto invernadero
- Frena el crecimiento de las plantas.

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Deposición seca y, en menor grado, deposición húmeda (es poco soluble)
- Fotólisis por el ultravioleta-visible
- Reacción con NO₂, HO₂ e hidrocarburos insaturados

2.3.3.2.8. SUBSTANCIAS RADIATIVAS

Los isótopos radiactivos como el Rn²²², I¹³¹, Cs¹³⁷ y Cs¹³⁴, Sr⁹⁰... son emitidos a la atmósfera como gases o partículas en suspensión. Normalmente se encuentran en concentraciones bajas y no tienen peligro salvo que se concentren.

RADON²²²

Es un gas, cuyos descendientes son isótopos de metales pesados que generan aerosoles radiactivos. Tiene un t_{1/2} de 3,8 días

FUENTES

- Natural: se desprende del granito y otras rocas magmáticas. Por eso hay

zonas que tienen una radiactividad natural más alta que otras. También se encuentra en los materiales de construcción.

- Antropogénica: centrales nucleares, prácticas médicas, industriales o de investigación, armamento nuclear.

EFFECTOS

- Emiten radiaciones ionizantes que pueden atravesar la materia viva y provocar daños irreparables: cáncer, alteraciones en la estructura molecular del ADN...
- En la actualidad preocupa de forma especial la acumulación de Rn^{222} que se produce en casas construidas sobre terrenos de alta emisión de radiactividad.

FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Su propia desintegración radiactiva mientras que sus descendientes
- Deposición húmeda: rainout o whasout
- Deposición seca de las partículas que los contienen

2.3.3.2.9. RUIDO

Es un tipo de contaminación física que se define como todo sonido molesto y desagradable. Se mide en decibelios (dB). El límite de tolerancia recomendado por la OMS es 65 dB. En la tabla 7 se muestran los efectos/daños que produce el nivel de ruido.

2.3.3.2.10. CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Es un tipo de contaminación física generada por la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (50 Hz).

FUENTES

- Dispositivos eléctricos: líneas de alta tensión, transformadores, antenas, etc.

EFFECTOS

- Dependiendo de la intensidad del campo electromagnético, puede provocar alteración del metabolismo celular y daños en la salud según

Tabla 7. Tabla de efectos y daños en función del nivel sonoro.

dB	EJEMPLO	EFECTO	DAÑO A LARGO PLAZO
10	Respiración. Rumor de hojas	Gran tranquilidad	
20	Susurro	Gran tranquilidad	
30	Campo por la noche	Gran tranquilidad	
40	Biblioteca	Tranquilidad	
50	Conversación tranquila	Tranquilidad	
60	Conversación en el aula	Algo molesto	
70	Aspiradora. Televisión alta	Molesto	
80	Lavadora. Fábrica	Molesto	Daño posible
90	Moto. Camión ruidoso	Muy molesto	Daños
100	Cortadora de césped	Muy molesto	Daños
110	Bocina a 1 m. Grupo de rock	Muy molesto	Daños
120	Sirena cercana		Algo de dolor
130	Cascos de música estrepitosos		Algo de dolor
140	Cubierta de portaaviones		Dolor
150	Despegue de avión a 25 m		Rotura del tímpano

2.4. CALIDAD DEL AIRE

La calidad de aire de una zona se determina midiendo los niveles de inmisión de los contaminantes mediante las denominadas redes de vigilancia, compuestas por numerosas estaciones de muestreo distribuidas por esa zona.

Existen muchas redes de vigilancia. Por ejemplo, en España está “*La Red Española de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica*” que pertenece a otras grandes redes internacionales como son “*El Programa EMEP*” (European Monitoring Evaluation Programme) y “*La Red BAPMoN*” (Background Air Pollution Monitoring Network).

Existen, además, redes de vigilancia gestionadas por las Comunidades Autónomas, como por ejemplo, “*La Red automática de vigilancia y control de la contaminación atmosférica de la CAV*”.

Y también existen redes de vigilancia gestionadas por los municipios, siempre y cuando tengan más de 50.000 habitantes y competencias ambientales lógicamente, como por ejemplo, en Vitoria donde el Ayuntamiento de Vitoria tiene instalada “*La Red manual de vigilancia y control de la contaminación atmosférica*” que cuenta con 16 estaciones distribuidas por todo el municipio.

Según las directivas comunitarias, los resultados de la calidad del aire obtenidos en estas redes, deben ser difundidos al público, a través de los medios de comunicación (radio, TV, prensa...), páginas Web, etc. Además dicha normativa exige que los resultados a difundir estén expresados de forma sencilla, sin tecnicismos y fácilmente entendible, nunca en forma de concentraciones de contaminantes. Por esta razón, a partir de las concentraciones de los contaminantes lo que se hace es calcular unos **ÍNDICES DE CALIDAD**, que son expresiones sencillas de la calidad del aire.

Hay muchos índices de calidad del aire. Véanse algunos ejemplos.

EJEMPLO 1: INDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICAIRE):

Es el índice que se utiliza por ejemplo en las Evaluaciones de Impacto Ambiental. Es un valor adimensional, que se calcula según la siguiente fórmula:

$$\text{ICAIRE} = k \frac{\sum_i C_i * P_i}{\sum_i P_i}$$

donde:

K es una constante que vale 0.75 para aire ligero y/o olor agradable, 0.50 para aire con olor desagradable, 0.25 para aire con olor fuerte y muy desagradable y 0.00 para aire con olor insoportable

P_i es el peso de los parámetros y

C_i es la carga del contaminante, que varía en función de su concentración según la tabla 8 basada en valores legales:

Tabla 8. Carga de los contaminantes en función de su concentración.

	SO ₂	Psus	NO ₂	C _n H _n	CO	Psed	Pb	Cl ₂	RF	C _i
V A L O R E S	2200	1800	1000	800	60	1800	40	275	120	0
	1800	1400	900	650	55	1400	30	250	100	10
	1400	1000	750	500	50	1000	20	175	80	20
	700	600	600	350	40	750	15	125	60	30
	500	400	350	250	30	500	10	75	40	40
	350	250	200	140	20	300	4	50	20	50
	250	200	150	100	15	200	3	30	15	60
	150	150	100	75	10	150	2	20	10	70
	100	100	50	50	5	100	1.5	10	5	80
75	50	25	25	2.5	50	1	5	2.5	90	
<50	<25	<10	<10	<1	<25	<0.25	<2.5	<1	<1	100
	μg m ⁻³	μg m ⁻³	μg m ⁻³	μg m ⁻³	mg m ⁻³	μg m ⁻³	μg m ⁻³	μg m ⁻³	μg m ⁻³	%
P _i	2	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	--

Los valores son medias diarias y no se deben sobrepasar más de 3 días consecutivos. Si se toma como indicador la concentración media anual, los valores analíticos correspondientes a cada valor porcentual se reducen aproximadamente a la mitad.

Lógicamente, el ICAIRE varía entre 0 y 100. Como puede verse en la tabla 9, el índice está dividido en 5 tramos, a cada uno de los cuales le corresponde una calidad

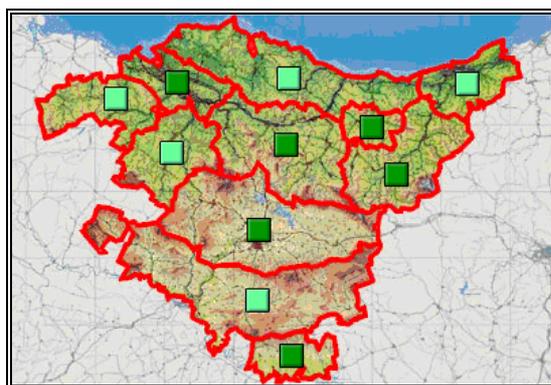
del aire y un color asociado a ella, que se usará en el caso de expresar los resultados en forma de mapas.

Tabla 9. Rangos del valor del ICAIRE y calidad de aire y color asociado a cada uno de ellos.

VALOR DEL ÍNDICE	CALIDAD DEL AIRE	COLOR ASOCIADO
> 90	Muy buena	Verde
70-90	Buena	Amarillo
50-69	Regular	Naranja
30-49	Mala	Rojo
1-29	Muy mala	Marrón

EJEMPLO 2: INDICE DE CALIDAD UTILIZADO EN LA RED AUTOMÁTICA DE VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA CAV:

El Gobierno Vasco tiene dividido el territorio en 11 zonas, teniendo en cuenta la delimitación geografía, la delimitación administrativa, la población y la superficie (figura 8).



Rioja Alavesa
 Álava Meridional
 Llanada Alavesa
 Alto Nervión
 Alto Urola
 Ibaizabal-Alto Deba
 Donostialdea
 Alto Oria
 Kostaldea
 Encartaciones
 Bajo Nervión

Figura 8. División del territorio en 11 zonas representativas de la Red Automática de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica de la CAV

Cada una de estas zonas cuenta con un número determinado de estaciones remotas, que suman en total 63 estaciones. Cada estación está equipada con una serie de analizadores automáticos que miden diversos parámetros físicos y químicos.

Los analizadores, a su vez, están conectados vía teléfono con una sede central situada en la Delegación Territorial de Bizkaia del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.

El índice que utiliza esta red está referido a 5 contaminantes: SO₂, PM₁₀, NO₂, CO y O₃. En cada estación de la red se calcula un índice parcial para cada contaminante, que valdrá 0 si la concentración del contaminante es 0 y 100 si coincide con el valor límite fijado en el “*Real Decreto 1073/02, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono*”. Lógicamente, cuando el índice vale 100, significa que el contaminante está en su concentración más alta permitida, con lo que la calidad del aire será lógicamente admisible. 100 es el valor que diferencia la calidad del aire buena y mala.

El índice global de una estación será el mayor de los índices parciales de esa estación. De igual forma, el mayor de los índices globales de una zona será el valor que represente el índice de esa zona.

Este índice está dividido en 6 tramos, que definen 6 estados de calidad de aire. A cada uno de los tramos se le asigna un color de acuerdo con la tabla 10:

Tabla 10. Rangos del valor de Índice y calidad de aire y color asociado a cada uno de ellos.

ÍNDICES					CALIDAD DEL AIRE	COLOR
NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	CO	O ₃		
0 - 50	0 - 50	0 - 50	0 - 50	0-50	Buena	V. claro
50-100	50-100	50-100	50-100	50-89	Admisible	V. oscuro
100-120	100-130	100-117	100-140	89-100	Moderada	Amarillo
120-156	130-165	117-150	140-180	100-150	Mala	Rojo
156-280	165-276	150-200	180-240	150-200	Muy mala	Marrón
>280	>276	>200	>240	>200	Peligrosa	Morado

2.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

2.5.1. DEPOSICIÓN DE CONTAMINANTES. LLUVIA ÁCIDA

La deposición de contaminantes se refiere a la forma que tienen los contaminantes atmosféricos de alcanzar las superficies receptoras.

Se pueden distinguir tres tipos de deposición dependiendo del estado físico del contaminante en el momento de alcanzar la superficie receptora y del mecanismo de transporte hasta la misma. Son la deposición húmeda, seca y oculta (figura 9).

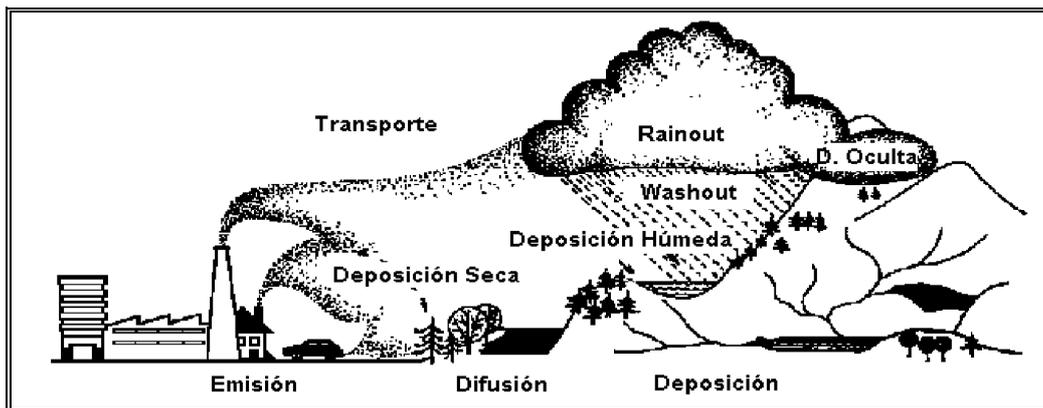


Figura 9. Esquema de los diferentes tipos de deposición (seca, húmeda (rainout/washout) y oculta).

La **DEPOSICIÓN HÚMEDA** consiste en la incorporación de los contaminantes a las nubes o a las gotas de lluvia y su posterior precipitación, ya sea en forma de lluvia o nieve. Este tipo de deposición incluye dos mecanismos:

- **Rainout:** que se produce, bien cuando se forman gotas de nube mediante la condensación de vapor de H_2O sobre el contaminante (lógicamente ha de ser particulado), o bien cuando el contaminante se incorpora a las gotas de nube ya formadas (lógicamente han de ser gases solubles o materia particulada higroscópica).

- **Washout:** que se produce cuando los gases y partículas se incorporan a las gotas de lluvia o nieve en su camino descendente desde la base de las nubes hasta la superficie receptora.

En la **DEPOSICIÓN SECA** los contaminantes son transportados hasta la superficie receptora, bien por transporte turbulento (viento) o por sedimentación (gravedad), y una vez allí, impactan en el receptor sin haber sido primero disueltos.

La **DEPOSICIÓN OCULTA** consiste en la incorporación de contaminantes dentro de las gotas de niebla y su posterior intercepción por el receptor. Al igual que en la deposición húmeda, los contaminantes alcanzan la superficie receptora en solución acuosa, pero al igual que en la deposición seca el principal mecanismo de transporte es el transporte turbulento o sedimentación, combinados con la impactación.

Por otro lado, dependiendo de la composición química de los contaminantes, la deposición puede ser además de tipo ácido. Las características de la **DEPOSICIÓN ACIDA** son las siguientes:

FORMACIÓN

Los compuestos de S y N emitidos a la atmósfera son oxidados hasta sus estados de oxidación más altos. Como también reaccionan con los hidrometeoros (agua atmosférica en cualquiera de sus formas) se convierten en HNO_3 y H_2SO_4 , dando lugar a la **DEPOSICIÓN ÁCIDA**. También puede deberse a la presencia de HCl (que es el otro ácido fuerte), pero esto sólo ocurre de forma puntual, en zonas cercanas a fuentes de HCl.

No obstante, estos ácidos pueden ser neutralizados por sustancias básicas, como son el gas amoníaco y las partículas de aerosol desprendidas del suelo en forma de carbonatos metálicos

En el caso de que el proceso de deposición tenga lugar por vía húmeda, el fenómeno se conoce con el nombre de **LLUVIA ÁCIDA**. El pH natural de la lluvia es el del agua pura en equilibrio con la concentración atmosférica global de CO_2 (330 ppm, en condiciones normales de presión y temperatura). Este pH tiene un valor de 5.6, de modo que se considera lluvia ácida aquella que tiene un pH menor de 5, neutra si está entre 5 y 6 y básica si pH mayor 6. Actualmente este valor límite ha sido

reducido a 5.2 debido al aumento de concentración atmosférica de CO₂.

DAÑOS

- Ecosistemas acuáticos: La acidez en ríos y lagos altera los ciclos de reproducción. Hay muchas especies de peces y anfibios que no pueden subsistir en aguas con pH inferiores a 5.5.
- Ecosistemas terrestres: Se cree que la lluvia ácida provocó la llamada "muerte de los bosques", que es un fenómeno que sufre el arbolado en zonas templadas y que se empezó a observar en Alemania en los años 70. La lluvia ácida, por un lado, hace que las hojas de los árboles pierdan las ceras y no puedan realizar la fotosíntesis y, por otro, provoca la lixiviación (lavado) en el suelo de los nutrientes que necesita el árbol. Todo esto hace que el árbol se debilite y se haga vulnerable a las plagas, sequía....Además la acidez en el suelo también provoca que se movilicen muchos metales tóxicos que se incorporan a las corrientes de agua.
- Edificios y construcciones: La corrosión de los materiales es otra importante consecuencia de la lluvia ácida. Muchos edificios y obras de arte situadas a la intemperie se están deteriorando por efecto de la deposición ácida. Incluso hay ruinas que están desapareciendo debido a la acidez de la lluvia.

2.5.2. EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

Se conoce como efecto invernadero, también llamado greenhouse, al fenómeno natural por el cual determinados gases (gases invernadero o greenhuouse, como el CO₂) absorben la radiación IR que refleja la superficie de la Tierra y la devuelven de nuevo a la Tierra provocando el calentamiento de la atmósfera.

En la figura 10 se puede ver cómo afectan los gases invernadero al intercambio de radiación IR entre la tierra y la atmosfera, y cómo ha evolucionado la temperatura del planeta en el último siglo y medio.

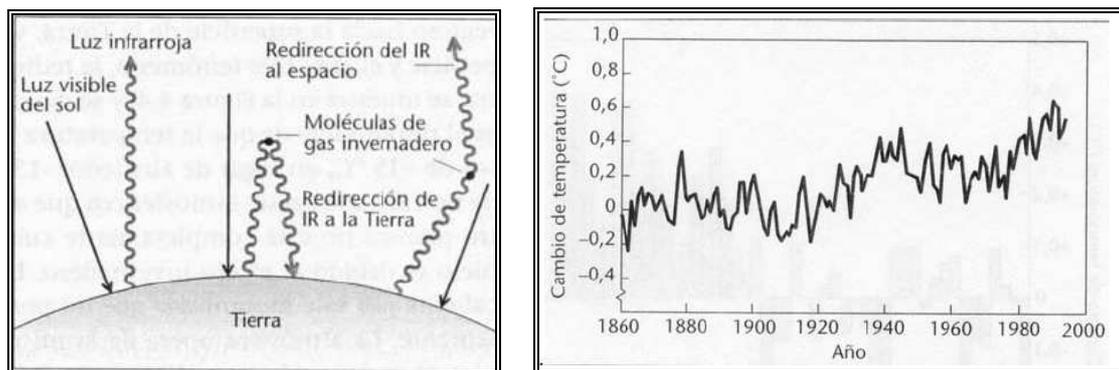


Figura 10. Efecto invernadero y evolución de la temperatura media del planeta en el último siglo y medio.

Parte de la radiación emitida por el sol alcanza la tierra, especialmente la radiación V. La IR y UV son, en gran parte, absorbidas por los gases atmosféricos (apartado 2.2 Balance energético). La superficie de la Tierra refleja parte de ella (un 30% aproximadamente) en forma de radiación IR, mientras que absorbe el 70% restante. Algunos gases, como el CO_2 absorben esta radiación IR y devuelven parte a la tierra, lo que provoca que la temperatura de la atmósfera aumente. A este fenómeno se le conoce como efecto invernadero (**greenhouse**) y a los gases “gases invernadero” o “gases greenhouse”.

El efecto invernadero es un fenómeno natural en la atmosfera que ha existido desde siempre. La cantidad de energía que llega a la tierra y la que se refleja están en perfecto equilibrio, de forma que la temperatura terrestre se ha mantenido en unos límites ($+15^\circ\text{C}$) que han permitido el desarrollo de la vida. Si no existiera CO_2 en la atmósfera, el planeta sería unos 30°C más frío (-15°C) de lo que es ahora y la vida nunca hubiera podido desarrollarse, por lo menos, tal y como se conoce hoy en día.

Lo que ocurre es que últimamente la concentración de estos gases está aumentado mucho debido a la actividad humana y hay mucha gente que piensa que se está rompiendo este equilibrio natural y se está produciendo un calentamiento de la tierra. De hecho, la temperatura media de la Tierra ha aumentado unos 0.6°C en el siglo XX. Pero claro, dada la complejidad de los factores que afectan al clima es muy difícil saber si este calentamiento está dentro de la variabilidad natural del clima o si, realmente, se debe a un aumento del efecto invernadero.

En la tabla 11 se pueden ver los diferentes gases invernadero y su contribución relativa y real al efecto invernadero

Tabla 11. Gases invernadero y su contribución relativa y real al efecto invernadero.

Gas	Acción Relativa	Contribución Real
CO ₂	1 (referencia)	76%
CFCs	15000	5%
CH ₄	25	13%
N ₂ O	230	6%

El CAMBIO CLIMÁTICO es el efecto directo provocado por el calentamiento del planeta como consecuencia del aumento en la concentración de los gases invernadero. Los efectos que provocaría un cambio climático no se pueden predecir con seguridad, pero se cree que se produciría una fuerte radicalización del clima (fuertes e intensas tormentas y períodos de sequía más largos). Este es el clima típico de los desiertos. Se produciría una fuerte desertificación. Además, como va aumentando la temperatura de la atmósfera, parte de los glaciares y de los cascos polares se fundirían, lo que daría lugar a un aumento del nivel del mar, y a la desaparición de muchas superficies costeras.

2.5.3. SMOG

La palabra inglesa smog viene de SMOke (humo) y fOG (niebla)

Se conoce como smog al fenómeno (situación) que se produce cuando se combinan una climatología determinada (inversión térmica) y concentraciones altas de ciertos contaminantes.

Hay dos tipos de smog, cuyas características principales se muestran en la tabla 12. La figura 11 contiene algunas fotos de ambos tipos de smog.

Tabla 12. Principales características del smog reductor y fotoquímico.

CARACTERÍSTICA	SMOG REDUCTOR (INDUSTRIAL, GRIS, SULFUROSO)	SMOG FOTOQUÍMICO
Componentes primarios	SO ₂ y partículas	O ₂ , NO, NO ₂ , CO, materia orgánica
Contaminantes secundarios	SO ₄ H ₂ , aerosoles de sulfato	O ₃ , NO ₃ H, PAN, aldehídos, aerosoles
Temperatura del aire	-1 a 4° C	24 a 32 °C
Combustibles fuente	Carbón	Petróleo
HR	85% (niebla)	< 70%
Visibilidad	30 m	0.8 - 1.6 km
Meses más frecuente	diciembre - enero	agosto - septiembre
Tipo de reacción química	Reductora	Oxidante
Hora más probable	Por la mañana	Mediodía
Efectos sobre la salud	Irritación de los bronquios Reducción visibilidad	Irritación de los ojos y de las vías respiratorias
Episodio más importante	Londres 1952. 4000 muertes	Los Ángeles, 1943



Figura 11. Fotos tomadas durante episodios de smog en Londres y en Los Ángeles.

TEMA 3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

3.1.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA

El agua se puede clasificar según su:

LOCALIZACIÓN:

- superficial: está en la superficie (ríos, pantanos...).
- subterránea o profunda: de los acuíferos (una gran masa de agua debajo de la tierra)
- freática: capa más superficial del acuífero.
- de fuente o pozos
- lacustre: de los lagos
- de infiltración: lluvia que se filtra en el suelo y alimenta los acuíferos subterráneos
- de lixiviado: agua de lluvia que lava el suelo o las hojas de los árboles
- marina: agua de mar. Los océanos
- pluvial: agua de lluvia

UTILIZACIÓN:

- potable: destinada al consumo humano
- industrial: la que se usa en los procesos industriales

- residual: la que procede de las actividades humanas (domésticas, comerciales, e industriales).
- tratada: la que ha sido sometida a tratamientos de purificación.
- cruda: la que no ha sido sometida a tratamientos de purificación

COMPOSICIÓN:

- pura: H₂O
- dulce: menos de 1000 mg l⁻¹ de sales o sólidos totales disueltos.
- salobre: 1000 a 10000 mg l⁻¹ de sales
- salada: 10000 a 100000 mg l⁻¹ de sales
- natural: agua cruda, tal y como se encuentra en el recurso del que procede (sin contaminar)
- destilada: sometida a un proceso de destilación. Tiene muy baja conductividad
- mineral: la de los yacimientos subterráneos. También puede ser agua potable a la que se han añadido sales minerales permitidas por la ley.
- dura: rica en Ca²⁺ y Mg²⁺.
- blanda: pobre en Ca²⁺ y Mg²⁺.
- pútrida: en la que se están descomponiendo sustancias orgánicas

3.1.2. COMPOSICIÓN DEL AGUA NATURAL

El agua es muy buen disolvente, de hecho es el disolvente universal, por lo que nunca va a estar en la naturaleza en estado puro. El agua, en su ciclo natural, atraviesa la atmósfera y el suelo, y va arrastrando y disolviendo sus componentes. Por esta razón, incluso en zonas limpias donde no hay contaminación, el agua natural tiene muchísimos componentes, tanto inorgánicos como orgánicos:

SUSTANCIAS INORGÁNICAS (procedentes del suelo y del agua de lluvia)

- Especies mayoritarias (de 1 a 10000 mg l⁻¹): Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻
- Especies secundarias (de 0.1 a 10 mg l⁻¹): Fe²⁺, Fe³⁺, Sr²⁺, K⁺, CO₃²⁻, NO₃⁻, F⁻, H₃BO₃
- Especies traza (< 10⁻³ mg l⁻¹): Be, Bi, Cs, Au, Pt, Ra, Ag, Sn, H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻
- Especies en suspensión

- compuestos de Si ($> 1 \text{ mg l}^{-1}$), especialmente aluminosilicatos
- óxidos e hidróxidos: de Fe, de Ti, de Zn, de Al...
- sales de metales de transición: sulfuros, carbonatos, sulfatos...

SUSTANCIAS ORGÁNICAS (procedentes de la descomposición de la biomasa)

- Fenoles: más abundantes
- Hidratos de carbono
- Ácidos carboxílicos
- Aminas
- Aminoácidos
- Polipéptidos
- Ácidos grasos
- Sustancias húmicas

3.2. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Se dice que un agua está contaminada cuando contiene compuestos que impiden su uso.

Las fuentes de contaminación del agua pueden ser naturales (también llamadas geoquímicas: el suelo) o artificiales (antropogénicas). Normalmente, en este medio, las fuentes naturales son muy dispersas y no provocan concentraciones altas, excepto en algunos lugares muy concretos. Sin embargo, la contaminación antropogénica se concentra en zonas concretas (industrias, ciudades...). Además, los contaminantes son mucho más peligrosos que los emitidos por las fuentes naturales.

Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica: La **industria** (dependiendo del tipo de industria emitirá unos contaminantes u otros), los **vertidos urbanos** (que llevan fundamentalmente contaminantes orgánicos), la **navegación** (muy importante en la contaminación por hidrocarburos) y la **agricultura y ganadería** (que contaminan con pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas).

Todos estos focos de contaminación alteran algunas propiedades del agua, tanto propiedades físicas, químicas como biológicas. Estas propiedades alteradas por los contaminantes (tabla 13) son, en realidad, los parámetros que se miden en un agua para determinar la calidad del agua.

Tabla 13. Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante.

FÍSICAS:	QUÍMICAS	BIOLÓGICAS
Color Olor y sabor Conductividad Temperatura Materiales en suspensión Radiactividad Espumas	pH O ₂ disuelto (OD) DBO ₅ , DQO, COT Nitrógeno total Fósforo total Aniones: Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , S ²⁻ , CN ⁻ , F ⁻ Cationes: Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ Metales pesados Compuestos orgánicos	Bacterias coliformes Virus Microorganismos Animales Plantas

3.3. SUBSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA

3.3.1. RESIDUOS CON REQUERIMIENTO DE O₂

Son compuestos, fundamentalmente orgánicos, que se oxidan fácilmente por la acción de bacterias aerobias.

FUENTES

- aguas de albañal (domésticas y animales)
- desechos de industrias alimentarias
- desperdicios de industrias papeleras
- subproductos de operaciones de curtido
- efluentes de mataderos y plantas empaquetadoras de alimentos.

EFFECTOS:

- muerte de la vida microscópica aerobia y macroscópica

MEDIDA

Hay tres formas de medir estos residuos en un agua.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable. La cantidad de DBO en un agua se calcula con la diferencia entre el oxígeno disuelto antes y después de una incubación durante 5 días a 20°C. La calidad del agua varía en función de los resultados obtenidos (tabla 14).

Tabla 14. Calidad del agua para distintos valores de DBO₅.

DBO ₅	CALIDAD DEL AGUA
1 - 2 mg l ⁻¹	Muy Buena
3 - 5 mg l ⁻¹	Aceptable
6 - 9 mg l ⁻¹	Mala
> 100 mg l ⁻¹	Muy Mala

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para oxidar químicamente toda la materia orgánica. Se mide valorando el exceso de oxidante añadido a la muestra. La calidad del agua varía en función de los resultados obtenidos (tabla 15).

Tabla 15. Calidad del agua para distintos valores de DQO.

DQO	Calidad del Agua
1-5 ppm < 50 ppm 250-600 ppm	no contaminada poco contaminada residual doméstica

Carbono Orgánico Total (COT) Es la cantidad total de carbono que tiene la materia orgánica. Se calcula midiendo por espectroscopía infrarroja la cantidad de CO₂ desprendida en una combustión catalítica a 900-1000°C.

3.3.2. AGENTES PATÓGENOS

Pertenecen a este grupo las bacterias, virus, protozoos... También otros organismos contagiados por estos agentes patógenos.

FUENTES

- Heces y restos orgánicos de personas infectadas.

MEDIDA

- Dada la dificultad y lentitud de los procedimientos analíticos para medir los agentes patógenos de forma directa, se mide, en su lugar, el número de bacterias coliformes y gérmenes anaerobios después de un cultivo con lactosa a 35°C. La presencia de estos organismos indica una contaminación fecal. Si dicha contaminación es reciente estarán presentes en la muestra tanto las bacterias coliformes como los gérmenes anaerobios. Por el contrario si la contaminación fecal no es reciente, no habrá bacterias coliformes.

3.3.5. SUSTANCIAS QUÍMICAS INORGÁNICAS

Se incluyen en este grupo los ácidos minerales, las sales inorgánicas y los metales tóxicos como el Hg y el Pb.

FUENTES

- Ácidos minerales: drenaje de las minas de hierro y lluvia ácida.
- Sales inorgánicas: vertidos, infiltración del mar, utilización de sal para eliminar la nieve...
- Metales pesados: minería, siderurgia, corrosión de materiales metálicos, erosión

EFFECTOS

- Aumento de la acidez por los ácidos minerales.
- Aumento de la salinidad por las sales inorgánicas:
- Aumento de la toxicidad por metales pesados:

3.3.6. SEDIMENTOS Y MATERIALES SUSPENDIDOS

Se refiere a las partículas arrancadas del suelo y arrastradas al agua y vertidos de materia particulada. Son los que contribuyen en mayor medida a la masa total de contaminantes en el agua.

FUENTES

- Natural: erosión

EFFECTOS

- Desbordamientos y destrucción de animales acuáticos.
- Reducción de luz y aumento de la turbidez

3.3.7. SUSTANCIAS RADIATIVAS

Algunos isótopos radiactivos son solubles y pueden estar presentes en el agua. Estos isótopos solubles pasan a la cadena trófica y se acumulan en los tejidos provocando los mismos daños que los atmosféricos.

FUENTES

- Natural: granito y rocas magmáticas
- Artificiales:
 - Minería y elaboración de las menas para producir sustancias radiactivas utilizables.
 - Uso de materiales radiactivos en el armamento nuclear.
 - Empleo de materiales radiactivos en las centrales energéticas nucleares.

EFFECTOS

- Emiten radiaciones ionizantes que pueden atravesar la materia viva y provocar daños irreparables: pueden provocar cáncer y afectar a la reproducción de los seres vivos ya que pueden modificar la estructura molecular del ADN, etc.

3.3.8. CONTAMINACIÓN TÉRMICA

Se refiere al aumento de la temperatura del agua.

FUENTES

- Antropogénica: agua liberada en los procesos de refrigeración industriales.

EFFECTOS

- Disminuye su capacidad de contener oxígeno disuelto puesto que disminuye la solubilidad de los gases.
- Aumenta las reacciones químicas, lo que provoca también la pérdida de oxígeno disuelto y asfixia de los peces.
- Afecta los procesos biológicos de peces, cuyo cuerpo tiene la temperatura del agua.

3.4. CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Se entiende por calidad del agua el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para responder a los usos para los que está destinada.

3.4.1. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

En el año 2000 la Unión Europea aprobó la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (DMA), cuyo objetivo final es conseguir el “*buen estado ecológico y químico de las masas de agua*”.

Según el Anexo V de la DMA, para establecer el estado ecológico de una masa de agua es necesario conocer las siguientes características:

- fisicoquímicas: temperatura, oxígeno disuelto, sales, pH, nutrientes y contaminantes específicos
- hidromorfológicas
 - régimen hidrológico: cantidad y velocidad del agua, continuidad fluvial,...
 - condiciones morfológicas del cauce: profundidad y anchura del río, estructura y sustrato del lecho y estructura de la ribera
- biológicas: flora y fauna

Para alcanzar el “*buen estado ecológico y químico de las masas de agua*”, la DMA marca unos objetivos intermedios que todos los países miembros de la Unión Europea deben cumplir y la fecha tope en la que deben quedar cumplidos estos objetivos. En la tabla 16 se puede observar el calendario de aplicación de la DMA.

3.4.2. LA CALIDAD DEL AGUA

Hay dos formas de expresar la calidad del agua: en función del uso que se le vaya a dar al agua o mediante los índices de calidad.

Tabla 16. Calendario de aplicación de la DMA

2003	Transposición a la legislación nacional. Obligación de prevenir el deterioro de todas las masas de agua superficial. Identificación de las Demarcaciones Hidrográficas y designación de las Autoridades competentes
2004	Identificación y caracterización de todas las masas de agua Registro de Zonas Protegidas (áreas de baño y pesca, LICs, ZEPAs, captaciones de agua potable, zonas sensibles a nutrientes) Identificación de los impactos de las actividades humanas sobre las masas de agua Análisis económico del uso del agua y del nivel de recuperación de costes
2006	Programas de seguimiento del estado de las aguas (superficiales, subterráneas) y de las zonas protegidas Calendario de la participación pública de las partes interesadas Programa de trabajo de elaboración del Plan de Cuenca (información pública durante 6 meses)
2007	Información pública del Esquema provisional de los temas importantes de la cuenca en materia de gestión de aguas (6 meses)
2008	Información pública del proyecto del Plan Hidrológico de Cuenca (6 meses)
2009	Aprobación del Plan Hidrológico de Cuenca y del Programa de Medidas para proteger, mejorar y regenerar las masas de agua y los ecosistemas acuáticos
2010	Aplicación de políticas sobre el precio del agua que incentiven el uso eficiente y consecución de los objetivos ambientales, y la recuperación de costes
2012	El Programa de Medidas es totalmente operativo
2015	Consecución del <i>BUEN ESTADO ECOLÓGICO Y QUÍMICO DE LAS MASAS DE AGUA</i> y de las zonas protegidas, primera revisión de los Planes de Cuenca

3.4.2.1. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU USO

La DMA establece cuales deben ser las características físico-químicas y microbiológicas que tiene que tener un agua para poder ser destinada a los siguientes usos:

a) CONSUMO HUMANO:

En aguas destinadas a consumo humano, hay que medir la DQO, DBO, NH_4^+ , NTK, conductividad, Cl^- , CN^- , recuentos microbiológicos y algunos metales (Fe, Cu, Cr.....). Según los valores obtenidos, el agua será de tipo A1, A2, A3 o A4 (anexo II de la directiva), y necesitará distinto grado de tratamiento para su potabilización.

Tabla 17. Tipo de agua y tratamiento para su potabilización.

GRUPO	TIPO	TRATAMIENTO
A1	Potabilizable	Físico simple: filtración rápida y desinfección
A2	Potabilizable	Físico-químico normal: cloración, floculación, decantación, filtración y desinfección.
A3	Potabilizable	Adicional al A2: ozonización o carbón activo.
A4	No potable	Intensivo para potabilizar (solo en casos excepcionales)

b) BAÑOS Y USOS RECRETATIVOS

aguas destinadas al baño y usos recreativos hay que medir los recuentos microbiológicos, el porcentaje de oxígeno disuelto, y en menor medida, la presencia de aceites y grasas y otros caracteres organolépticos como son el olor, sabor...

c) VIDA PISCÍCOLA

En aguas destinadas a la vida piscícola es crítica la concentración de NO_2^- y NH_3 no ionizado (es muy tóxico para los peces). También se mide la DBO_5 , NH_4^+ , hidrocarburos disueltos y metales pesados (Pb, Cu, Zn).

3.4.2.2. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD:

Los índices de calidad son valores (datos numéricos) que califican la calidad del agua, independientemente del uso que se le vaya a dar. Los índices de calidad pueden ser químicos o biológicos.

3.4.2.2.1. ÍNDICES QUÍMICOS

Valores resultantes de introducir los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos que se analizan en el agua en una función matemática. Son por ejemplo el Índice de calidad general (ICG), Índice de Prati, Toxicidad Peces, Análisis de la sensibilidad química....

El más conocido es el Índice de Calidad General (ICG). Este índice fue propuesto en 1981 por el señor Mingo Magro. Escribió un libro que se llama “*la vigilancia de la contaminación fluvial*” en el que explica las características y el método de cálculo de este índice. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICG = \sum Q_i \times P_i / \sum P_i$$

donde Q_i es la calidad o carga química de la variable y P_i es un índice de ponderación.

La carga de una variable es un valor adimensional que se obtiene a partir de su curva de calidad estandarizada. Una curva de calidad es una representación gráfica (una función) de los valores analíticos que puede tomar la variable frente a la calidad o carga que siempre varía entre 0 (pésima) y 100 (óptima). Cada variable tiene su curva que está diseñada por expertos. A continuación en la figura 12 se muestra a modo de ejemplo la curva de calidad de la variable “coliformes totales”

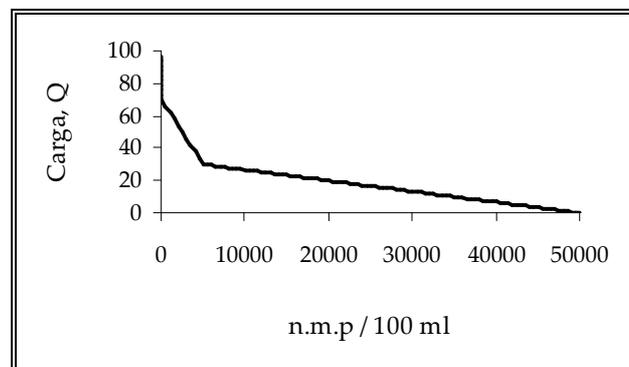


Figura 12. Curva de calidad estandarizada para la variable coniformes totales.

Los coeficientes de ponderación varían entre 1 y 4 según la importancia de la variable dentro de la calidad general del agua. Toman los siguientes valores (tabla 18):

Tabla 18. Variables y coeficientes de valoración del ICG.

VARIABLE, I	P _I
Oxígeno disuelto, materia en suspensión, pH, conductividad, DBO ₅ , coliformes totales	1
DQO, ortofosfatos, NO ₃ ⁻	3
Detergentes, CN ⁻ , Fenoles, Cd, Cr hexavalente, Hg	1
Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cu, Pb, Zn	2
Ca ²⁺	3
Mg ²⁺ , Na ⁺	4

El ICG varía entre 0 y 100 y tiene establecidos cinco clases de calidad del agua (tabla 19).

Tabla 19. Rango de valores del ICG y calidad del agua asociada.

ICG	CALIDAD DEL AGUA
entre 85 y 100	Excelente
entre 75 y 85	Buena
entre 65 y 75	Regular
entre 50 y 65	Deficiente
menor que 50	Mala

3.4.2.2.2. ÍNDICES BIOLÓGICOS

Son también valores numéricos que se obtienen en base a la respuesta que tienen las comunidades biológicas a la contaminación antropogénica. Se suelen usar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos (larvas de insectos generalmente), porque son fáciles de muestrear (forman comunidades variadas y abundantes y tienen un tamaño suficientemente grande para el muestreo) y porque tienen una gran amplitud de respuestas (distintas tolerancias a los diferentes grados de contaminación, es decir, unas son sensibles a la contaminación y otras no).

Se dividen en:

- Índices bióticos: **Índice biótico BMWP'** (Biological Monitoring Working Party, BMWP)
- Índices de diversidad ecológica: Índice de Shannon, Dimensión fractal de biocenosis, Índice de Berger-Parker.
- Modelo SCAF: Sistemática de la calidad de las aguas fluviales.

El más utilizado es el BMWP'. Cada familia de macro invertebrados tiene adjudicado un valor de sensibilidad que está tabulado. Este valor está comprendido entre 1 y 10, correspondiendo el valor 1 a familias que pueden vivir en aguas muy contaminadas (poco sensibles) y 10 a las familias que no toleran la contaminación (muy sensibles). Para calcular el BMWP de un agua se identifican las comunidades de macroinvertebrados que tiene esa agua y se suman los valores de sensibilidad.

El índice tiene establecidas 6 clases de calidad para el agua según el valor de sensibilidad. En la tabla 20 se puede encontrar la clase de calidad y el valor del índice, las características del agua y un color de referencia (que se utilizará para dar los resultados en forma de mapas).

Tabla 20. Rango de valores del BMWP', clase y tipo de agua y color asociado.

CLASE	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
Ia	>120	Aguas muy limpias	Azul
Ib	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de manera sensible	Azul
II	61-100	Crítica: son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	36-60	Aguas contaminadas. Mala calidad	Amarillo
IV	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

3.4.3. LAS REDES DE VIGILANCIA

El estado ecológico de las masas de agua o calidad del agua se controla desde las redes de vigilancia, que permiten, por un lado, conocer como está el recurso

hídrico, y por otro, estudiar las causas en caso de contaminación para tomar las medidas oportunas.

En España se encuentra implantado el sistema SAICA (ver cuadro resumen a continuación) que está basado en una amplia red de estaciones repartidas por las cuencas hidrográficas y que se apoya principalmente en dos grandes redes de medida: Red ICA y Red ALERTA.

RED DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES EN ESPAÑA:

- ✧ SAICA: Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas ().
 - “Red ICA” (Red Integrada de Calidad de las Aguas) (manual):
 - Red COCA (Control Oficial de la Calidad del Agua)
 - Red COAS (Control de agua destinada a Abastecimientos)
 - Red COPI (Control de calidad del agua para la vida Piscícola)
 - “Red Alerta” (automática).
- ✧ Red de Control de Calidad de las Aguas de Baño
- ✧ Red Nacional de Control de Radiactividad Ambiental en aguas superficiales

RED DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES EN LA CAPV:

- ✧ “Red de seguimiento del estado ecológico de los ríos de la CAPV”
- ✧ “Red de vigilancia del estado de la contaminación por sustancias prioritarias en ríos de la CAPV”
- ✧ “Red de vigilancia de la calidad de las masas de agua superficial de la CAPV”.
- ✧ “Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la CAPV”
- ✧ “Red de seguimiento del estado ecológico de los humedales interiores de la CAPV”

3.5. DEPURACIÓN DE VERTIDOS

La depuración de vertidos se lleva a cabo en las estaciones depuradoras. Hay dos tipos de depuradoras: Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) y Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)

3.5.1. ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (ETAP)

Una ETAP es una planta que convierte el agua natural o bruta (agua que no ha sido tratada) en agua potable o doméstica, para lo cual utiliza una serie de tratamientos y procesos. Se localizan, por lo tanto, entre los embalses de agua (donde están las tomas de abastecimiento) y las canalizaciones (la red de distribución del agua: colectores y tuberías).

Las ETAP tienen como misión potabilizar el agua de un embalse, es decir, eliminar parte de la materia mineral, materiales orgánicos (fenoles, HC, detergentes, residuos de pesticidas...) y microorganismos (bacterias, protozoos, virus...)

Los tratamientos y procesos para potabilizar el agua de un embalse dependen de las características de esa agua, por lo que, cada depuradora tendrá que diseñar la cadena de procesos necesarios para transformar el agua del embalse en agua potable. La secuencia de procesos más comunes es el que se muestra en la figura 13:

1. PREOXIDACIÓN

El agua bruta pasa al tanque de preoxidación donde se le añade un oxidante (aire atmosférico, KMnO_4 , O_3 , H_2O_2 ...) para que oxide la materia orgánica e inorgánica.

2. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

El agua pasa al tanque de coagulación que estará provisto de un sistema de agitación. Se añade un coagulante (normalmente FeCl_3) para que los coloides (partículas muy pequeñas que están en suspensión estable y que no han podido sedimentar en el embalse), coagulen entre sí y se transformen en partículas más grandes que sí puedan sedimentar.

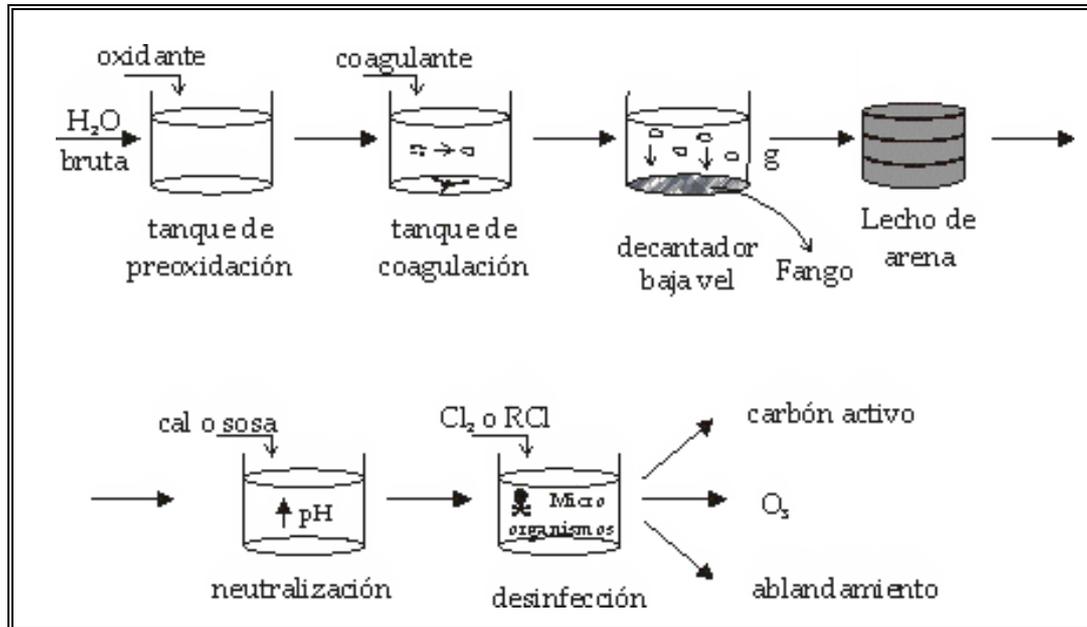


Figura 13. Secuencia de procesos más comunes en una ETAP.

3. DECANTACIÓN

Se hace circular el agua a baja velocidad por un decantador. Entonces, por acción de la gravedad, las partículas voluminosas (las que pudiera haber en el agua y, sobre todo, las que se han formado en el proceso de coagulación) se depositan en el fondo. Del fondo, son retiradas en forma de fango (también llamado lodo), que se trata en la misma ETAP (si es que tiene la infraestructura necesaria para tratar los fangos) o se manda a una EDAR para su tratamiento.

4. FILTRADO SOBRE ARENA

Una vez eliminadas las partículas gruesas, se hace pasar el agua a través de un lecho de arena para retener las partículas más finas que no han sido eliminadas en los procesos anteriores.

5. NEUTRALIZACIÓN

Se pasa el agua al tanque de neutralización donde se neutraliza la acidez del agua con cal (CaO) o sosa (NaOH), para evitar la corrosión de las tuberías.

6. DESINFECCIÓN FINAL

Consiste en añadir Cl₂ o algún compuesto de cloro para eliminar los microorganismos que pueda haber en el agua. También sirve para prevenir posibles contaminaciones accidentales posteriores que pueden ocurrir en el recorrido del agua

por la red de distribución.

7. TRATAMIENTOS ESPECÍFICOS:

A veces, se necesitan tratamientos de acondicionamiento del agua como son:

a. **FILTRACIÓN SOBRE CARBÓN ACTIVO:** Se hace pasar el agua a través de un filtro de carbono activo que retiene ciertos compuestos que pueden dar malos olores y sabores. El objetivo es mejorar las características organolépticas del agua.

b. **OZONIZACIÓN:** El tratamiento con O_3 sirve para mejorar las características organolépticas del agua y para desinfectar ya que el O_3 es un potente desinfectante y viricida.

c. **ABLANDAMIENTO:** (sólo en el caso de aguas duras). Se trata el agua con reactivos químicos que transforman las sales solubles de Ca^{2+} y Mg^{2+} en sales insolubles, que se eliminan por precipitación. Además de proporcionar una mayor calidad al agua, evita posibles problemas de incrustaciones de cal en la red de distribución.

8. FLUORACIÓN

La fluoración es un procedimiento que se lleva a cabo mediante la adicción de ácido hexafluorosilícico, con el objetivo de prevenir la caries dental.

3.5.2. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)

Las aguas residuales son aquellas que han sido usadas y no sirven para el uso directo. Pueden tener un origen doméstico, industrial o comercial. Estas aguas residuales no se vierten a los ríos o al mar de forma directa, sino que, se recogen mediante el sistema de alcantarillado y se llevan hasta una EDAR. En la EDAR pasan por una serie de tratamientos que eliminan sus contaminantes y entonces sí se vierten al cauce receptor, normalmente un río o el mar.

En el caso de las aguas domésticas y comerciales, la EDAR se localiza siempre entre la red de alcantarillado y el cauce receptor. Sin embargo, en el caso de las aguas industriales, la EDAR se colocaría, lógicamente, entre el foco industrial y el cauce receptor.

El procedimiento de una EDAR depende de las características del agua a tratar (especialmente si es industrial) y del grado de depuración que se quiera conseguir. No obstante, en toda EDAR existen siempre dos líneas de tratamiento:

- a) línea de aguas: para eliminar la contaminación que lleva el agua
- b) línea de fangos: para recoger y tratar todos los fangos o lodos (sedimentos) que se generan en la línea de aguas.

En la figura 14 se muestra un esquema de los procesos más comunes que se realizan en una EDAR, en la línea de aguas y en la de fangos.

1. LÍNEA DE AGUAS: Sirve para eliminar la contaminación del agua. Se compone de cuatro tratamientos:

1.1. Pretratamiento o tratamiento físico: para preparar el agua para los tratamientos posteriores

1.1.1. Desbaste de gruesos

1.1.2. Desbaste de finos

1.1.3. Desarenado

1.1.4. Desengrasado

El agua residual entra en la EDAR por una tubería y pasa primero por unas rejillas gruesas (desbaste de gruesos) y luego por unas más finas (desbaste de finos) para retener todo tipo de plásticos, trapos, maderas..., objetos de gran tamaño que, no es que contaminen el agua, sino que pueden producir obstrucciones y averías en la planta. Después del desbaste, se lleva el agua al tanque de desarenado. Allí se deja reposar durante un tiempo para que, por acción de la gravedad, se depositen en el fondo las partículas sólidas en suspensión inestable (las gruesas) Se forman los lodos o fangos. El lodo se lleva a la línea de fangos y el agua se pasa al tanque de desengrasado. Aquí se inyecta aire a presión para formar burbujas que dispersan las grasas hasta hacerlas flotar. De la superficie se recogen de forma mecánica, se almacenan en contenedores especiales y se envían a un vertedero. También pueden incinerarse en la propia depuradora si se dispone de horno de incineración de fangos. El agua que queda pasa al siguiente tratamiento

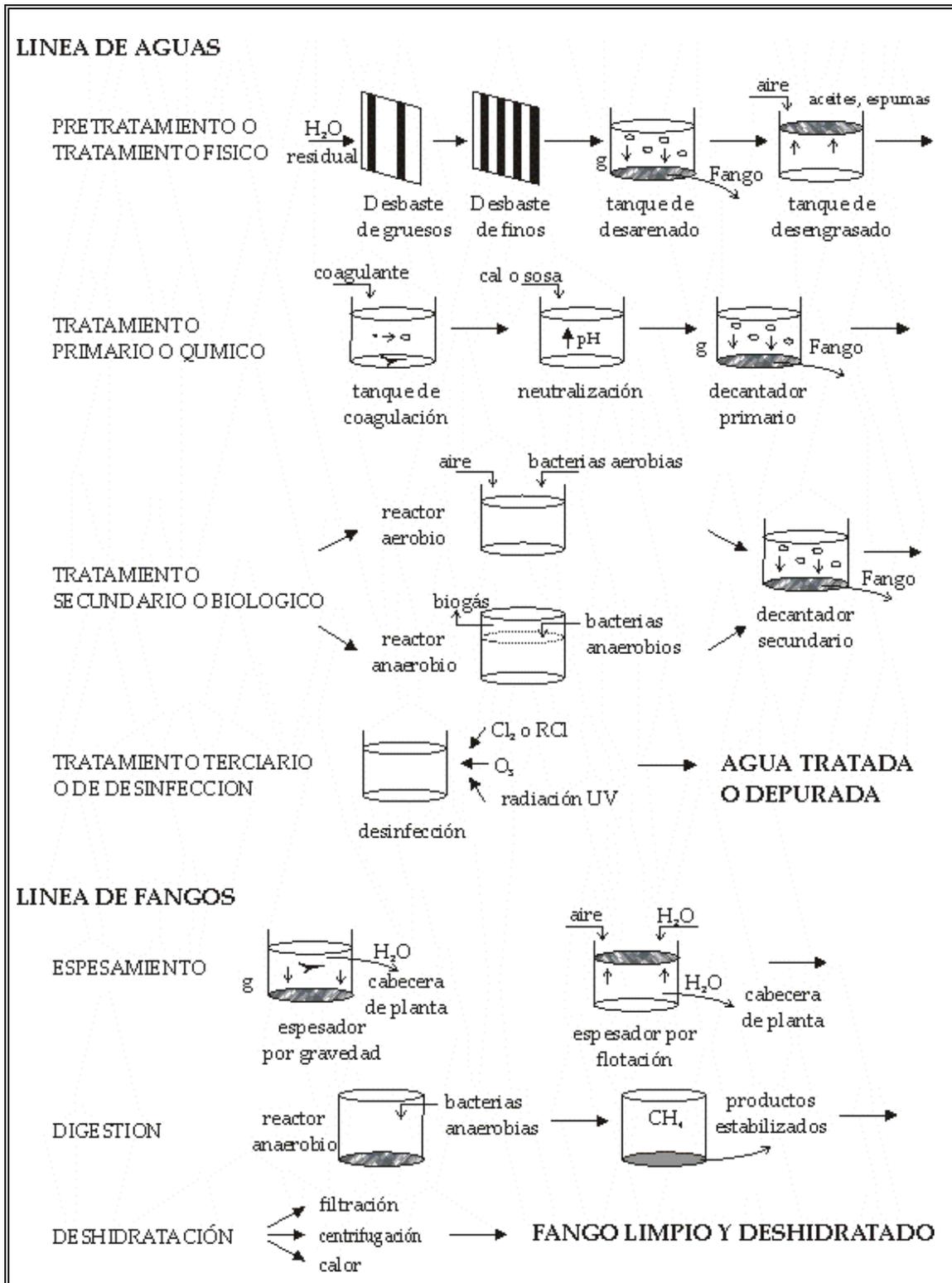


Figura 14. Secuencia de procesos más comunes en una EDAR, en la línea de aguas y en la de fangos.

1.2. Tratamiento primario o químico: para separar las partículas no retenidas en el pretratamiento

1.2.1. Coagulación-floculación

1.2.2. Neutralización

1.2.3. Sedimentación primaria

El agua pasa al tanque de coagulación donde se añade un coagulante (normalmente $FeCl_3$) y con agitación se transforman los coloides (partículas finas en suspensión estable) en partículas más grandes, o sea sedimentables. Se neutraliza el pH también con cal o con sosa y se pasa el agua al decantador primario donde se deja reposar durante varias horas para que por efecto de la gravedad los sólidos formados sedimenten en el fondo en forma de lodo. El lodo se lleva a la línea de fangos y el agua se lleva al siguiente tratamiento

1.3. Tratamiento secundario o biológico: para reducir la materia orgánica

1.3.1. Procesos aerobios o anaerobios

1.3.2. Sedimentación secundaria

El agua entra a un reactor biológico para reducir la materia orgánica mediante un proceso de oxidación, también llamado digestión. Este proceso puede ser aerobio o anaerobio.

En los procesos aerobios el agua se trata con aire y con microorganismos o bacterias aerobias que consumen la materia orgánica y el O_2 del aire.

En los procesos anaerobios se añaden microorganismos anaerobios que consumen la materia orgánica desprendiendo, entre otros gases, gas CH_4 o biogás. El biogás se aprovecha para producir energía, ya que tiene un elevado poder calorífico. Actualmente, se están instalando plantas de aprovechamiento de biogás en todas las depuradoras y vertederos.

Finalmente, el agua se pasa a los decantadores secundarios, donde se deja reposar durante unas dos horas, para que se depositen en el fondo los residuos que se hayan podido formar en las digestiones. Los fangos del fondo se recogen y se llevan a la línea de fangos y el agua pasa al siguiente tratamiento, al tratamiento terciario.

1.4. Tratamiento terciario o de desinfección: para desinfectar

1.4.1. Cloración

1.4.2. Ozonización

1.4.3. Radiación UV

Hay diversos procedimientos de desinfección. Se puede someter el agua a un tratamiento de cloración (añadir Cl_2 o con cualquier compuesto de cloro), de ozonización (tratamiento con O_3) o se puede irradiar el agua con radiación UV, la cual en ciertas dosis puede ser desinfectante.

Finalmente, después de todos estos tratamientos se obtiene un agua tratada o depurada, preparada ya para ser vertida a un río o al mar.

2. LÍNEA DE FANGOS:

Los lodos recogidos en la línea de aguas se llevan a la línea de fangos, donde se reduce la facultad que tienen los lodos para fermentar y también su volumen.

2.1. Espesamiento por gravedad o por flotación

En el espesamiento por gravedad se pasa el lodo a unas cubas con un fondo dotado de un peine giratorio que va removiendo el lodo muy lentamente. El agua al ser más ligera va hacia la superficie de donde se recoge y se envía a la cabecera de la planta. De esta forma el lodo se espesa en el fondo y de allí se recoge por succión.

Otra forma de espesar el lodo es por flotación. Consiste en añadir agua y aire a presión para formar burbujas que se adhieren a las partículas de lodo y lo arrastran hacia la superficie, donde se recogen con un rascador superficial. El agua se lleva a la cabecera de la planta.

Los lodos ya espesados pasan al procedimiento de digestión.

2.2. Digestión

Lo más normal es realizar una digestión ANAEROBIA. Se pasa el lodo a un reactor anaerobio (cerrado) y se añaden las bacterias anaerobias. Estas bacterias transforman la materia orgánica en CH_4 y productos estabilizados, es decir, que no fermentan. El biogás o CH_4 se puede usar para producir energía eléctrica.

2.3. Deshidratación

Los productos estabilizados se deshidratan mediante filtrado, centrifugado o secado. Así se reduce su volumen y se pueden manipular más fácilmente.

Finalmente el fango limpio y deshidratado puede tener varios destinos: un vertedero, una incineradora o una planta de compostaje.

3. TRATAMIENTOS MÁS AVANZADOS: Cuando el agua que sale de la EDAR se vierte a ecosistemas en peligro de eutrofización es importante eliminar el fósforo y el nitrógeno, para no empeorar el proceso mencionado.

3.1. Para eliminar fósforo:

Se pasa el agua por un reactor anaerobio con bacterias que asimilen fósforo. Si esto no es suficiente se precipita con un reactivo químico, por ejemplo $FeCl_3$.

3.2. Eliminación de N:

Hay que tener en cuenta que durante el tratamiento biológico, la mayor parte del nitrógeno se transforma en NH_4^+ . Este NH_4^+ con bacterias nitrificantes se transforma en NO_3^- . Y el NO_3^- con bacterias anaerobias desnitrificantes (que usan el oxígeno del NO_3^- para respirar) se transforma en N_2 gas que se desprende a la atmósfera (figura 15)

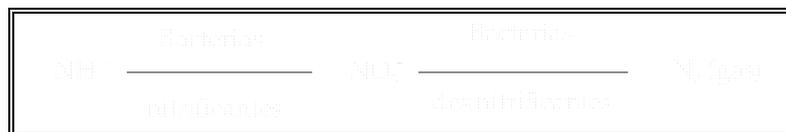


Figura 15. Procedimiento típico para eliminar el nitrógeno en una EDAR.

3.5.3. OTROS SISTEMAS DE DEPURACIÓN

Para depurar las aguas residuales de pequeñas comunidades con poca carga de contaminantes no es necesario instalar una EDAR. Hay otros métodos menos sofisticados que pueden ser eficaces y, por lo tanto, más rentables. El que se pueda usar un método u otro depende, como siempre, de la carga contaminante que tenga el agua y del grado de depuración que se quiera conseguir.

3.5.3.1. FOSA SÉPTICA

Es el sistema más común para tratar las aguas residuales de pequeñas zonas rurales o de caseríos aislados. Como puede verse en la figura 16, es simplemente un contenedor donde se deja el agua reposar al menos durante 24 horas. La materia sólida se deposita en el fondo por gravedad y las grasas y aceites flotan. La materia orgánica está fermentando de forma anaerobia. Se producirá CH_4 que habrá que dejar salir por algún sistema de válvulas. Los productos estabilizados irán al fondo. Cuando hayan pasado 24 o 48 horas el agua ya bastante limpia se vierte por la salida. Cada cierto tiempo habrá que limpiar la fosa. Se recomienda eliminar el material flotante por lo menos cada 6 meses y retirar los lodos acumulados en el fondo por lo menos una vez al año.

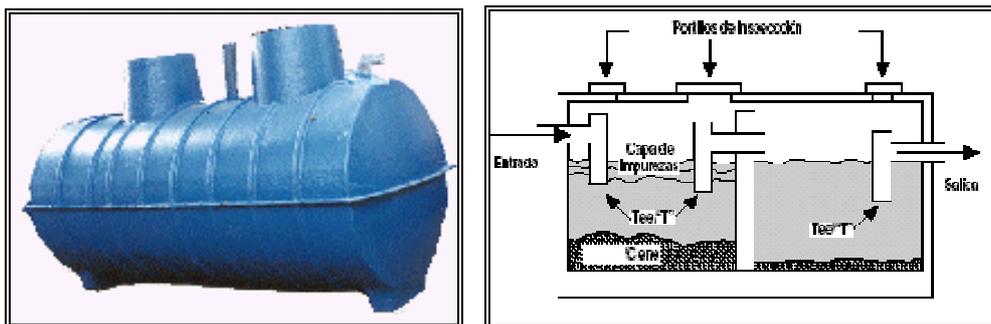


Figura 16. Esquema de una fosa séptica

3.5.3.2. LECHO BACTERIANO

Se usa para eliminar la materia orgánica del agua mediante una digestión aerobia. Es un depósito que está relleno de un material de soporte (figura 17), que sirve como soporte para que vayan creciendo los microorganismos que después van a degradar la materia orgánica. Está abierto al fondo para permitir el paso del aire y la presencia de O_2 a lo largo del lecho. El brazo va girando y rociando el agua residual de forma transversal y uniforme por todo el lecho sin inundarlo. Se produce entonces la fermentación aerobia. El depósito tiene un falso fondo, que no deja salir el material de soporte y permite el paso del agua ya tratada.

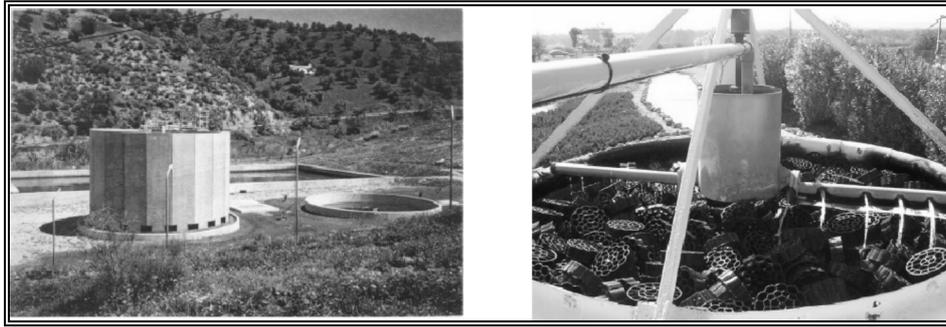


Figura 17. Lecho bacteriano

3.5.3.3. LAGUNAJE

Se basa en el principio de autodepuración natural que ocurre en ríos y lagos. Consiste en almacenar el agua en lagunas artificiales. La depuración se logra por sedimentación de la materia sólida y por fermentación de la materia orgánica que puede ser anaerobia (profunda), aerobia (poca profundidad) o mixta (figura 18).



Figura 18. Fotografía de una laguna de depuración.

3.5.3.4. FILTRO VERDE

Consiste en aplicar el agua residual sobre un terreno donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo. El terreno filtra los sólidos en suspensión y elimina ciertos compuestos mediante su complejo de cambio. La vegetación, a través

de sus raíces, absorbe la materia orgánica que utiliza para crecer. Al cabo de un tiempo, el agua se pierde por evaporación o por percolación. En este último caso, el agua llega a los acuíferos, con lo que habrá que tener cuidado de no contaminarlos (figura 19).

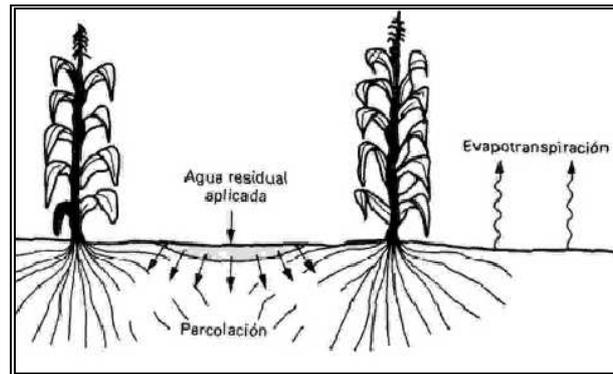


Figura 19. Esquema del funcionamiento del suelo como Filtro verde

3.5.3.5. CONTADORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS O BIODISCOS (RBC)

Se usan para eliminar la materia orgánica del agua. A veces se usan en las EDAR, para el tratamiento biológico. Son discos, de PVC, polietileno o polipropileno, que sirven de soporte para que las bacterias se adhieran (figura 20). Los biodiscos están girando parcialmente sumergidos en el agua residual, de manera que en su recorrido, el agua pasa por condiciones aerobias y anaerobias.

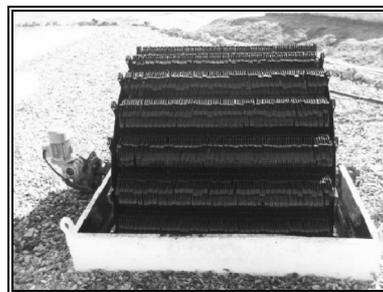


Figura 20. Fotografía de un biodisco.

3.6. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas son un recurso insustituible. De hecho, cada año se extraen de los acuíferos españoles entre 5500 hm³ y 6500 hm³ de agua. De ellos, unos 4800 se dedican al regadío y el resto a usos urbanos e industriales.

Hay dos tipos de procesos contaminantes en los acuíferos:

- a) Puntual: Afecta a zonas muy localizadas y es debida a lixiviados de vertederos (RSU o industriales), pozos sépticos y acumulaciones de procedentes de las granjas... Las fuentes puntuales están relacionadas con las actividades urbanas e industriales.
- b) Difuso: Afecta a zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal. Puede ser debida a un uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, a la explotación excesiva de los acuíferos... Las fuentes difusas están relacionadas con la actividad agropecuaria.

Los principales contaminantes que están afectando los acuíferos son NO₃⁻, restos orgánicos y pesticidas. Como puede observarse en la figura 21, llegan a los acuíferos bien por un proceso de infiltración de aguas superficiales contaminadas o aguas de regadío, por accidentes (fisuras) en alcantarillas, vertederos...o por intrusión salina (que ocurre en acuíferos próximos a la costa cuando el nivel del agua está muy bajo).

En realidad, las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las superficiales ya que el terreno que las cubre actúa como un filtro. Sin embargo, una vez contaminado son mucho más difíciles de depurar. Hay que tener en cuenta que en un acuífero no hay condiciones aerobias con lo que se pierde una importante forma de autodepuración. Además, los contaminantes no se diluyen ni se dispersan porque el agua subterránea se desplaza de forma muy lenta. El ritmo de renovación de un acuífero es muy lento (se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años).

La depuración de un acuífero es un proceso muy difícil y costoso. Se han usado procedimientos que extraen el agua, la depuran y la vuelven a inyectar en el terreno,

pero no siempre son eficaces. Por lo tanto, lo mejor que se puede hacer es protegerlos y prevenir su contaminación.

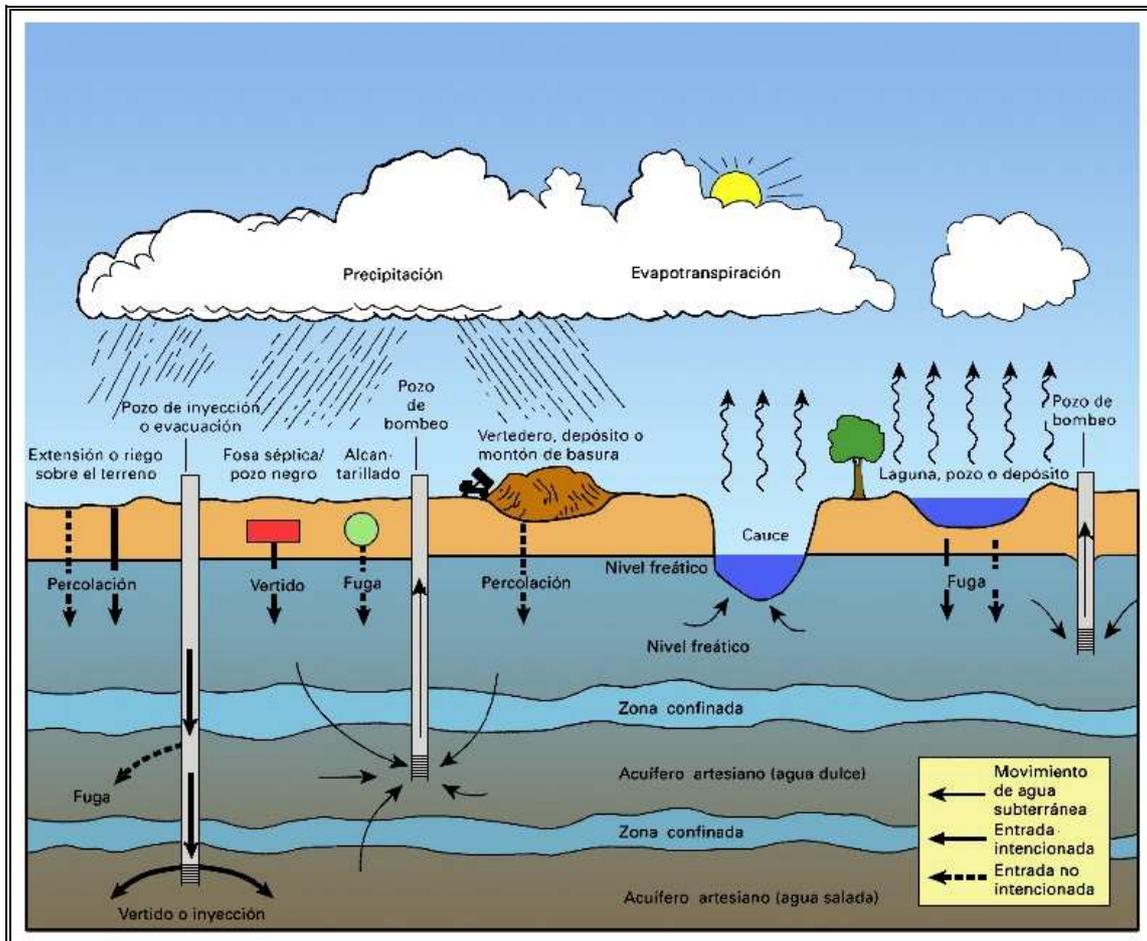


Figura 21. Esquema de las entradas y salidas del agua en un acuífero subterráneo.

El control de calidad de las aguas subterráneas se lleva a cabo también mediante un sistema de redes de vigilancia similar al de las aguas superficiales. En estos momentos existen varias redes nacionales de control de las aguas subterráneas:

- “Red Piezométrica” para estudiar el nivel de agua de los acuíferos
- “Red Hidrométrica” para estudiar el caudal de los manantiales
- “Red de Observación de Calidad de Aguas Subterráneas” (ROCAS) para estudiar la calidad química
- “Red de Observación de Intrusión” (ROI). Que identifica aquellos acuíferos que

tienen problemas de intrusión marina, midiendo su conductividad y contenido en cloro.

Actualmente, desde el MMA se está desarrollando un proyecto de reunificación de las redes con el objetivo de crear una “Red Oficial de Aguas Subterráneas”, que será gestionada por cada una de las Confederaciones Hidrográficas. Así por ejemplo, en la confederación hidrográfica Norte tenemos

- “Red Básica de Control de Aguas Subterráneas” que hace tres tipos de controles:
 - control de nivel (piezométrico) en 16 sondeos en acuíferos importantes
 - control de caudal (foronómico) en 13 manantiales significativos.
 - control de calidad (químico) 25 sondeos y manantiales
- “Red de Control de Nitratos de Aguas Subterráneas” que tiene por objetivo conocer las zonas afectadas por la contaminación difusa por nitratos de origen agrario.

TEMA 4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

4.1. PROPIEDADES DEL SUELO

El suelo es un medio complejo. De hecho, de los tres vectores ambientales, el suelo es el más complejo y desconocido. Posee su propia atmósfera interna, régimen hídrico particular, fauna y flora determinadas y elementos minerales. Es un medio dinámico, es decir, nace, madura, envejece y muere.

4.1.1. COMPOSICIÓN MEDIA

La edafogénesis, o proceso de formación de un suelo, se inicia con la disgregación mecánica o química de la roca madre, fenómeno conocido como meteorización. La meteorización puede estar inducida por la acción de diversos agentes, como son el clima, el relieve, la actividad biológica, la composición litológica y el tiempo de actuación de todos ellos.

Si el material que ha sido meteorizado o disgregado de la roca madre no es transportado por la erosión, entonces se mezcla con la materia orgánica procedente de los seres vivos, con el agua que hay por el suelo y con el aire que entra por los poros y da como resultado un suelo ya madurado.

Por lo tanto, un suelo maduro está compuesto por materia sólida (50% de materia sólida: (45% mineral y 5% orgánica) agua (20-30%) y aire (20-30%).

45%	5%	20-30%	20-30%		
ROCA MADRE	+ R-C	+ AGUA	+ AIRE	=	SUELO MADURADO
Arena	biomasa	POROS	POROS		
Arcilla			vH ₂ O		
Caliza			CO ₂		
Oxidos			O ₂		
Sales					

La materia mineral o inorgánica que procede de la roca madre es:

- Arena: Es el componente más importante del suelo. Normalmente es silícica, por eso se suele expresar el contenido en arena de los suelos como % de SiO₂
- Arcilla: Mezcla de silicatos de aluminio hidratados Al₄(SiO₄)₃·xH₂O.
- Caliza: CO₃Ca.
- Diversos óxidos: Fe (causante del color rojizo del suelo), de Mn (negro), Ti, Al, Zn....
- Sales de NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ y PO₄³⁻

La materia orgánica consiste en una mezcla de biomasa: plantas parcialmente degradadas y humus (residuo que queda cuando los hongos y las bacterias descomponen las plantas) organismos vivos, microbios...

El agua en el suelo ocupa los espacios porosos que hay entre las partículas sólidas. El aire también ocupa los espacios porosos y está compuesto de vapor de H₂O, CO₂ y, en menor cantidad, O₂.

4.1.2. TEXTURA

La textura de un suelo está relacionada con la composición granulométrica del suelo ya maduro, es decir, se refiere al tamaño de las partículas que lo componen. Hay tres tipos de texturas: fina (arcillas y limos), media (arena) y gruesa (grava y piedras)

La textura es una propiedad muy importante del suelo porque de ella dependen

otras propiedades del suelo, como por ejemplo la permeabilidad al agua. Lógicamente, un suelo con una textura gruesa será mucho más permeable que un suelo con textura fina. De hecho se considera que los suelos arcillosos son impermeables.

4.1.3. ESTRUCTURA VERTICAL

Los suelos se estructuran de forma vertical en una serie de capas o estratos llamadas horizontes, distinguibles a simple vista por su color. Al conjunto de horizontes que componen un suelo determinado se le llama perfil del suelo.

Típicamente, un suelo puede tener hasta tres horizontes, que se llaman con las tres primeras letras del alfabeto: A, B y C. Estos horizontes están representados en la figura 22.

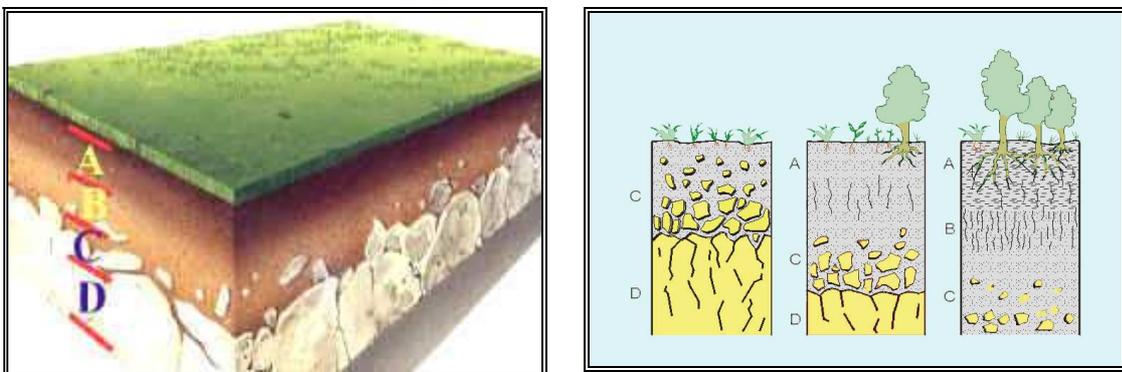


Figura 22. Estructura vertical o perfil de un suelo: horizontes.

El horizonte A es la parte más superficial del suelo, donde están las raíces de las plantas. Se le llama también horizonte de lavado porque es el que está expuesto a la erosión y a los procesos de lixiviado (lavado por el agua). Es un horizonte muy rico en materia orgánica porque está muy cerca de la superficie, aunque también tiene materia inorgánica. Su composición es muy compleja, por lo que se divide en subhorizontes:

- El subhorizonte A00 es un horizonte muy orgánico. Está compuesto de restos vegetales reconocibles a simple vista: hojas, ramas... Tiene un color variado dependiendo de la estación del año y de la zona en la que se encuentre.
- El subhorizonte A0 es también un horizonte orgánico. Está compuesto por el humus, es decir, restos vegetales en proceso de descomposición, que por supuesto no son reconocibles. Tiene un tono grisáceo o negro.
- El subhorizonte A1 es ya bastante inorgánico. Está formado por arcillas por lo que tiene un tono parduzco.
- El subhorizonte A2 es muy inorgánico y está formado por arcillas, Fe_2O_x ... Tiene un tono más claro.

Al horizonte B se le llama también horizonte de precipitación o de acumulación porque en él precipitan y se acumulan los componentes del horizonte A. Es un horizonte muy inorgánico. Tiene un tono rojizo y parduzco.

El horizonte C es la roca madre. Tiene dos partes: una superior, (C1 o C), donde la roca madre se está disgregando, y una más profunda, (C2 o D), donde la roca madre está fresca.

Los horizontes de un suelo no tienen por qué tener siempre la misma anchura. Puede haber un suelo con un horizonte B muy ancho o con un horizonte B muy estrecho o, incluso, sin horizonte B, ya que este horizonte es el último en formarse durante la edafogénesis.

4.1.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Una de las propiedades más importantes que caracteriza un suelo es su capacidad de intercambio catiónico o CIC.

Las partículas más finas del suelo (arcillas y humus) tienen una intensa actividad en su superficie porque están cargadas negativamente (figura 23) y, por lo tanto, forman compuestos muy estables con los cationes que hay disueltos en el agua del suelo.

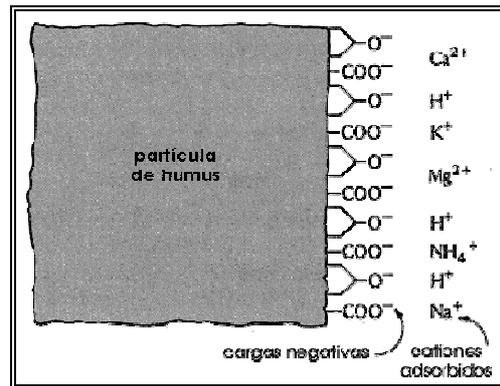


Figura 23. Principio de la Capacidad de Intercambio Iónico. Partícula de humus cargada en su superficie con cargas negativas, formando complejos estables con los cationes de la disolución del suelo.

Estos cationes que están adsorbidos en las partículas no son fijos, son intercambiables por otros cationes de la solución del suelo (figura 24), por ejemplo, H⁺, según la reacción:

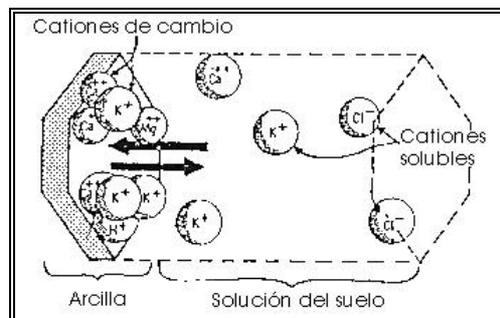
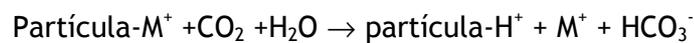


Figura 24. Intercambio de cationes entre el complejo de cambio y la solución del suelo.

A la cantidad de cationes que un suelo es capaz de intercambiar se conoce como CIC y se expresa en meq M / 100 g de suelo.

A las partículas del suelo implicadas en este proceso (arcillas y humus, fundamentalmente) se le conoce como "complejo de cambio" y a los cationes "cationes de cambio" (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺... fundamentalmente).

La CIC de un suelo es vital para que estos cationes, que en realidad son nutrientes, puedan acceder a las plantas. Se podría decir que el complejo de cambio es un almacén de donde las plantas toman los nutrientes que necesitan. Un suelo que tenga poco complejo de cambio, es decir, que tenga un CIC limitada, no podrá retener estos cationes y serán lavados por las aguas de infiltración o subterráneas. Será un suelo muy pobre para las plantas. Y viceversa, un suelo con mucho complejo de cambio será un suelo rico para las plantas porque podrá retener muchos nutrientes.

En el suelo también existen intercambiadores de aniones.

4.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL SUELO

La contaminación del suelo se define como el desequilibrio físico, químico o biológico debido a la acumulación de sustancias a niveles tóxicos para los organismos del suelo, provocando pérdida de la productividad del suelo.

A diferencia de los que ocurre en el aire y en el agua, en el suelo los contaminantes son poco móviles. Los procesos de dilución prácticamente no existen. Solo un pequeño porcentaje de la contaminación del suelo se elimina por el regadío, escorrentía, lixiviación... Teniendo en cuenta que se necesitan más o menos unos 10.000 años para el desarrollo completo de un suelo, se puede decir que cuando un suelo se contamina, no se regenera nunca por sí solo.

4.2.1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes de contaminantes del suelo pueden ser naturales o artificiales (antropogénicas).

La fuente natural sería la liberación excesiva de alguna sustancia en la meteorización de la roca madre, siempre y cuando esa sustancia se acumule y resulte tóxica para el suelo. Sería un componente natural que resulta tóxico.

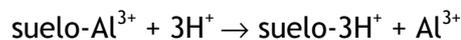
Entre las fuentes artificiales o antropogénicas están:

- RSU
- RSI
- Abonos, pesticidas, plaguicidas...
- Agua de riego
- Deposición de contaminantes atmosféricos y lixiviados (=filtrado)
- Lodos de las depuradoras
- Uso del suelo como depurador de aguas residuales (filtro verde).

4.2.1.1. TIPOS DE CONTAMINACIÓN

En el suelo hay que distinguir entre la contaminación endógena y la contaminación exógena.

La contaminación ENDÓGENA está provocada por un constituyente natural del suelo. Se produce cuando una acción externa provoca un desequilibrio en el suelo y hace que un constituyente natural cambie su forma química, se acumule y resulte tóxico. Por ejemplo, la lluvia ácida. Es una acción externa que moviliza el Al^{3+} del complejo de cambio según la siguiente reacción:



El Al^{3+} , que ahora está libre en la solución del suelo, puede llegar a absorberse por las raíces de las plantas y afectar su desarrollo, a no ser que sea lixiviado. Es un constituyente natural de suelo que se transforma en un contaminante.

La contaminación EXÓGENA se produce cuando los contaminantes proceden del exterior. Por ejemplo la acumulación en el suelo de iones H^+ procedentes de la lluvia ácida.

No se deben confundir el tipo de contaminación con las características de la fuente de contaminación. En el tabla 21 se muestra un cuadro con ejemplos de fuentes y tipos de contaminación.

Tabla 21. Ejemplos de fuentes y tipos de contaminación en el suelo.

FUENTE DE CONTAMINACIÓN	TIPO DE CONTAMINACIÓN	
	ENDÓGENA	EXÓGENA
NATURAL	Acumulación de una sustancia debido a una excesiva liberación en la disgregación de la ROCA MADRE	Acumulación de una sustancia procedente de una ERUPCIÓN VOLCÁNICA
ARTIFICIAL	Acumulación de una sustancia liberada del complejo de cambio debido a la LLUVIA ÁCIDA	Acumulación de una sustancia procedente de la LLUVIA ÁCIDA

4.2.1.2. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN

Los efectos que los contaminantes van a producir en el suelo dependen, por supuesto, de las características del contaminante, pero también de las características del suelo. No todos los suelos responden igual a la contaminación. Los principales factores que influyen en la respuesta del suelo a los contaminantes son:

- **VULNERABILIDAD DEL SUELO**

Es el grado de sensibilidad del suelo y está relacionado con su CIC. A mayor CIC (cuanto más complejo de cambio tenga el suelo), menor sensibilidad, de forma que:

Si $CIC < 6.2$, suelos muy sensibles

Si $6.2 < CIC < 15.4$, suelos ligeramente sensibles

Si $CIC > 15.4$ suelos poco sensibles.

- **BIODISPONIBILIDAD DEL CONTAMINANTE**

Es la cantidad de contaminante que puede ser tomado por un organismo. Hay contaminantes del suelo que tienen una elevada biodisponibilidad, es decir, son fácilmente asimilados por los organismos del suelo. Pero hay otros que no, por ejemplo, los que no son solubles. Tienen muy baja biodisponibilidad.

- **MOVILIDAD DEL CONTAMINANTE**

Es la capacidad que tiene el contaminante para distribuirse a través de los horizontes del suelo. Cuanta más movilidad tenga un contaminante, más fácilmente será lixiviado y transportado a otros medios.

- **PERSISTENCIA DEL CONTAMINANTE:**

Es el periodo de actividad del contaminante. Es una medida de su peligrosidad. Por ejemplo, los contaminantes biodegradables tienen baja persistencia en el suelo porque se degradan de forma relativamente rápida.

- **CARGA CRÍTICA**

Es la cantidad máxima de contaminante que admite el suelo antes de sufrir efectos nocivos. La carga crítica explica, por ejemplo, porque los efectos de la lluvia ácida fueron más alarmantes en los países escandinavos que en Centroeuropa, a

pesar de que la precipitación de Centroeuropa era mucho más ácida. Y es que los suelos europeos tienen una mayor carga crítica, es decir, admiten mayores concentraciones de contaminantes antes de sufrir sus efectos.

4.3. CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SUELO

El suelo es un sistema abierto, es decir, evoluciona hasta alcanzar el equilibrio con las condiciones ambientales y a partir de ahí tiende a permanecer estable durante mucho tiempo. Esto es debido a que el suelo es un sistema autodepurador, ya que es capaz de inmovilizar los contaminantes que le llegan, amortiguando así la contaminación.

Se define la capacidad de autodepuración de un suelo (también llamada poder de amortiguación) como la capacidad que tiene ese suelo para contrarrestar los efectos de los contaminantes que le llegan. Para ello puede valerse de varios mecanismos:

- neutralizar los ácidos y las bases
- degradar la materia orgánica de forma biótica y abiótica
- inmovilizar (adsorber, complejar o insolubilizar) cationes y aniones en su complejo de cambio.

4.3.1. BOMBA QUÍMICA DEL TIEMPO

La capacidad de autodepuración del suelo es limitada, es decir, no es infinita, como se ha pensado hasta hace poco tiempo. Los suelos admiten contaminantes, que van atrapando en su complejo de cambio, hasta que se saturan, es decir, hasta que se supera su capacidad de amortiguación. Y cuando ocurre esto, se produce la liberación rápida y violenta de la mayor parte de los contaminantes que tenía almacenados ese suelo. Los contaminantes, una vez movilizados, quedan libres en la disolución del suelo y pueden pasar a otros medios o a la cadena trófica y provocar efectos. Este fenómeno se conoce como la “Bomba Química del Tiempo” (BQT).

La BQT es una situación no prevista (no se sabe cuándo va a ocurrir) que se define como la rápida liberación de productos químicos almacenados durante un tiempo en un suelo.

El que ocurra la BQT, el proceso, depende fundamentalmente de tres factores

(figura 25): la vulnerabilidad del suelo, la entrada de productos químicos y los usos del suelo. Los suelos menos vulnerables son los más peligrosos, ya que pueden almacenar mayor cantidad de contaminantes.

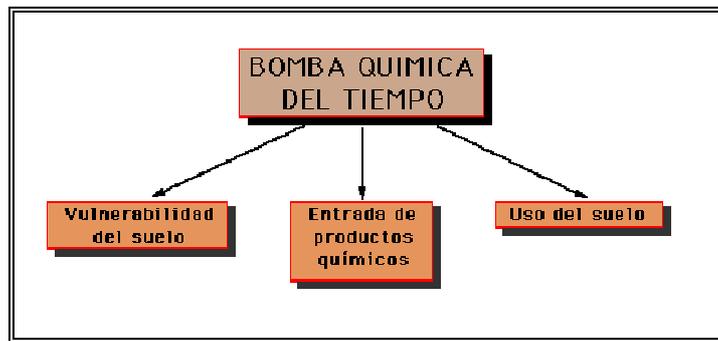


Figura 25. Factores que afectan mayoritariamente la Bomba Química del Tiempo

Las propiedades que nos sirven para controlar el riesgo de BQT de un suelo se llaman Propiedades Control y son las siguientes:

- **CIC**

A mayor CIC, mayor capacidad de autodepuración, menor vulnerabilidad y mayor peligrosidad.

- **TEXTURA**

Los suelos con textura fina (por ejemplo los arcillosos) tienen mucho complejo de cambio, es decir, alta capacidad de autodepuración y, por lo tanto, mayor peligrosidad. Las arenas, por ejemplo, son inertes.

- **PERMEABILIDAD**

Cuanto más permeable sea un suelo, más capacidad de autodepuración tiene (mayor peligrosidad), porque se facilita la circulación del agua y por lo tanto, se favorecen los procesos de lixiviación de contaminantes.

- **SALINIDAD Y ACIDEZ**

Lógicamente, la presencia de sales y ácidos en el suelo disminuye su capacidad

de autodepuración y, como consecuencia, su peligrosidad frente a la BQT.

- **POTENCIAL REDOX (Eh)**

Es el poder oxidante del suelo. A mayor Eh, mayor capacidad de autodepuración (mayor peligrosidad) ya que los óxidos de los metales precipitan y no se movilizan. Sin embargo, los sulfuros y otras sales suelen ser solubles.

- **GASES (el O₂)**

Favorecen la actividad microbiana del suelo y, por lo tanto, aumentan su capacidad de autodepuración y su mayor peligrosidad, lógicamente.

4.4. RESIDUOS

Se llama residuo a todo objeto, energía o sustancia (sólida, líquida o gaseosa) generado por la actividad humana que carece de utilidad o valor y cuyo destino es su eliminación.

Según la legislación vigente (*Ley 3/98, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco* y *Ley 10/98, de 21 de abril, de Residuos*), un residuo es cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER).

En 1993, la UE creó el CER. El CER es un listado de todo aquello que obligatoriamente debe ser considerado residuo, ya sea peligroso o no. Este catálogo está sometido a revisiones y modificaciones periódicas. Los residuos se clasifican primero en 20 sectores. Cada sector está a su vez dividido en grupos, y ya dentro de cada grupo están listados los residuos. Por lo tanto, cualquier residuo se caracteriza por un código de 6 dígitos, los dos primeros dígitos representan el sector al que pertenece el residuo, los dos siguientes al grupo y los dos últimos son el tipo de residuo. Si además tiene un asterisco es que se trata de un residuo peligroso.

4.4.1. CLASIFICACIÓN

Los residuos se clasifican también en categorías, como los contaminantes del agua. Son las 5 que tenéis en el índice: RSU, RSI, agrarios, hospitalarios y radioactivos

4.4.1.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Son los desechos que origina la actividad doméstica y comercial: basura, muebles, electrodomésticos, restos del cuidado de jardines, de la limpieza de las calles...

Son los residuos más abundantes. Por ejemplo, según la página Web del Ayuntamiento de Vitoria, en el año 2003, cada vitoriano generó 393 kg de residuos (más de 1 kg al día), lo que supone un total de $86 \cdot 10^6$ de kg año⁻¹ de residuos generados solo en Vitoria. En todo Euskadi se generaron ese mismo año $2700 \cdot 10^6$ kg de residuos.

4.4.1.1.1. GESTIÓN DE LOS RSU.

Como puede verse en la figura 26, la correcta gestión de los RSU incluye tres fases: Recogida y transporte, Tratamiento y valorización y Eliminación

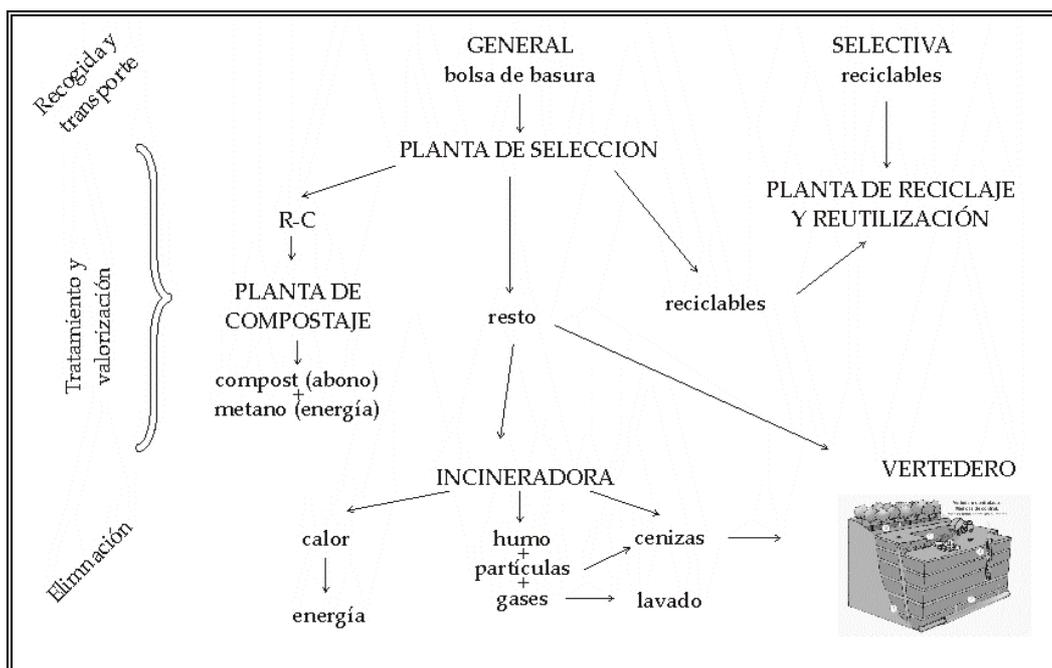


Figura 26. Correcta gestión de los RSU.

RECOGIDA

La recogida puede ser

- general: que lleva todo tipo de residuos. Son las bolsas de basura que se

depositan en los puntos de recogida.

- selectiva: se recogen residuos reciclables en los distintos contenedores (papel, vidrio, plástico, pilas), garbigones, el punto verde...

De una forma u otra, los residuos se transportan en camiones hasta las plantas de tratamiento o valorización.

TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN

Los residuos procedentes de la recogida general se llevan a la planta de selección. Allí se separan los residuos reciclables y la materia orgánica. Quedará lógicamente un resto.

Los residuos reciclables, junto con los procedentes de la recogida selectiva, pasan a la planta de reciclaje y recuperación. Allí es donde se reutilizan o se reciclan la mayor parte de los RSU.

Los restos orgánicos que se llevan a la planta de compostaje, donde se deja fermentar la materia orgánica. Una vez fermentada, queda un producto de color marrón oscuro, llamado compost que es rico en nutrientes y que se puede usar como abono. Además, se produce CH_4 que se usa para obtener energía.

ELIMINACIÓN

Todo lo que no haya podido ser recuperado, reciclado o compostado, se elimina mediante una incineración o en un vertedero controlado:

La incineración consiste en la combustión controlada de los residuos. La combustión transforma el residuo en cenizas, con lo que se reduce considerablemente el volumen de residuos inicial. También se desprende calor, que se transforma en energía. Lógicamente se produce humo que va cargado de partículas pequeñas (es una combustión) y gases y que va a salir por la chimenea.

Para evitar que las partículas salgan a la atmósfera se usan filtros electrostáticos que atraen las partículas, las aglutinan y las dejan caer sobre las cenizas. Además el humo se hace pasar por una lluvia de agua que tiene reactivos para retener algunos gases tóxicos. Finalmente las cenizas se depositan en vertederos controlados (figura 27).

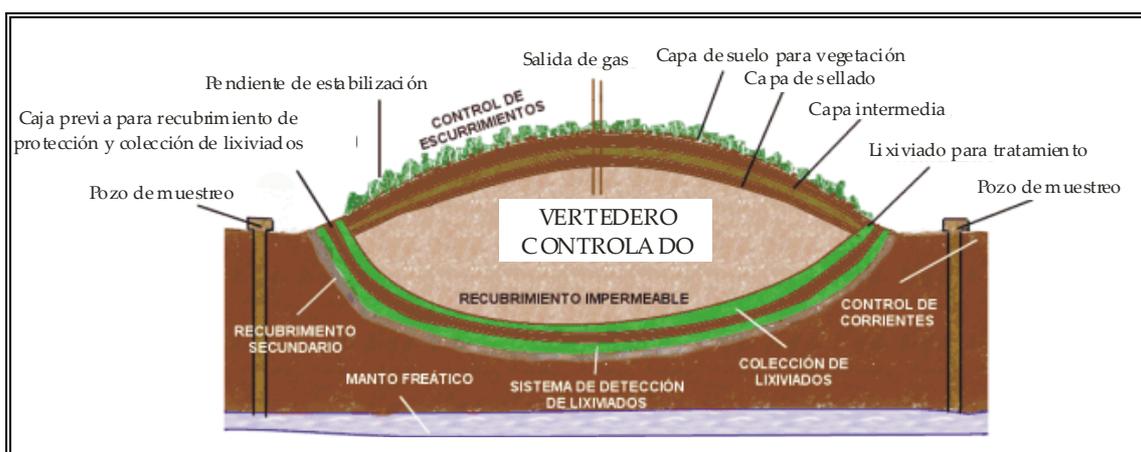


Figura 27 Esquema de un vertedero.

Un vertedero controlado es simplemente un agujero con el fondo y los laterales impermeabilizados. Los residuos se colocan en capas que luego se recubren con tierra, para evitar la proliferación de ratas e insectos, olores, incendios... Y así se va rellenando el vertedero.

Como el vertedero está impermeabilizado, el agua de liiviado no percola y se recoge mediante un sistema de drenaje, se lleva a una EDAR y se depura. En el interior del vertedero hay materia orgánica en descomposición y, por lo tanto, se desprenden gases. Hay que instalar en el vertedero un sistema de salida de gases. El CH_4 se usa, como siempre, para obtener energía. Normalmente, en un vertedero se suelen instalar plantas de generación de energía para aprovechar el metano, parte del cual abastece la propia planta y el resto se lleva a la red general.

Los vertederos controlados están perfectamente vigilados. Se analizan de forma continua tanto los liiviados como los gases y también la calidad del agua

subterránea que se muestrea mediante pozos de muestreo.

Cuando un vertedero se llena se recubre adecuadamente para dejar el terreno apto para otros usos. Una vez cubierto, se siguen analizando los efluentes durante varios años, para tener la certeza de que no se está acumulando CH₄ que puede explotar, y que no hay sustancias tóxicas en los lixiviados.

4.4.1.2. RESIDUOS INDUSTRIALES (RSI)

La industria, especialmente la industria química, genera una gran cantidad de residuos que pueden ser inertes o tóxicos y peligrosos.

Los RSI INERTES son escombros, gravas, arenas y materiales que no presentan riesgo para el medio ambiente. Suelen ser recogidos y tratados de forma similar al los RSU. Su principal efecto es el deterioro del paisaje.

Los RSI TÓXICOS Y PELIGROSOS son sustancias inflamables, corrosivas, tóxicas o que pueden producir reacciones químicas. Se gestionan tratándolos de forma física (filtrado, centrifugado, decantado...), química (neutralización, redox...), biológica (fermentaciones, digestiones por microorganismos...). Estos residuos son normalmente productos sintéticos que no se degradan de forma natural y, por lo tanto, permanecen muchos años antes de ser eliminados. Además, como continuamente se están sintetizando moléculas nuevas, a pesar de los ensayos que se hacen, no se conocen bien sus características, y no siempre se sabe muy bien que puede suceder con ellos a largo plazo.

4.4.1.3. RESIDUOS AGRARIOS

Son los que proceden de la actividad del sector primario de la economía (agricultura, ganadería, pesca, actividad forestal y cinegética) y de las industrias alimenticias.

La mayor parte de estos residuos son orgánicos y biodegradables. Debido a esto, dependiendo del tipo de suelo y del tipo de residuo, se gestionan depositándolos en el suelo, con lo que contribuyen a mantener los nutrientes del suelo (siempre evitando los excesos, para que no se acumulen y se conviertan en contaminantes).

Son unos residuos relativamente recientes. Antiguamente, no existían residuos agrarios, ya que todo lo que sobraba se quemaba y se usaba como abono. Sin embargo, actualmente, con los métodos modernos de explotación del campo (piensos compuestos, abonos químicos...) los restos agrarios se han convertido en verdaderos residuos.

Actualmente, estos residuos se llevan a las plantas de tratamiento, donde se separa la materia orgánica y se someten a un procedimiento de compostaje.

4.4.1.4. RESIDUOS HOSPITALARIOS

Son los que proceden de los hospitales.

El volumen de residuos hospitalarios es muy pequeño comparado con los anteriores, pero requieren una gestión específica debido a sus características.

Pueden establecerse 5 grupos diferenciados:

- Asimilables: pueden integrarse en los RSU
- Clínicos sin peligrosidad específica: pueden integrarse en los RSU
- Clínicos contaminados biológicamente: Pueden propagar enfermedades y el tratamiento normal es la incineración que asegura la eliminación de microorganismos. También se usa la desinfección.
- Clínicos contaminados químicamente: También son peligrosos y necesitan medidas especiales.
- Especiales: precisan un tratamiento específico marcado por la ley debido a su naturaleza y, en concreto, se trata de los residuos radiactivos y los procedentes de restos humanos

4.4.1.5. RESIDUOS RADIATIVOS

Proceden de centrales nucleares, medicina, industria, investigación, construcción de armas nucleares...

Son residuos muy peligrosos porque pequeñas cantidades de residuo radioactivo pueden originar graves daños en la salud y porque algunos isótopos pueden estar emitiendo radiaciones durante muchísimo tiempo.

Hay dos grandes grupos de residuos radiactivos: lo de alta actividad y los de baja actividad.

Los RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD emiten altas dosis de radiación. Son los más peligrosos. Tienen un período de desintegración (tiempo necesario para reducir el número de núcleos a la mitad) superior a 30 años. Están formados por restos del uranio y de otras sustancias en los reactores nucleares, por residuos de la fabricación de armas atómicas y por restos del proceso de purificación del uranio.

Para eliminarlos se suelen vitrificar (se funden a elevada temperatura con una solución viscosa que al enfriarse alcanza la consistencia del vidrio) y se almacenan en contenedores durante muchos años, hasta que la radiactividad baje lo suficiente como para que dejen de ser peligrosos. Los contenedores deben ser capaces de resistir cualquier tipo de corrosión, fuego, terremotos... Para estar seguros de que estos residuos no van a tener efectos, se deben almacenar en el suelo a gran profundidad, en los AGP (almacenamiento geológico profundo), en lugares geológicamente estables y bien refrigerados ya que los isótopos radiactivos emiten calor. Todavía no se ha decidido dónde poner estos contenedores. Por ahora están almacenados de forma provisional, normalmente en las piscinas de las centrales nucleares, hasta que se decida donde almacenarlos.

Los RESIDUOS DE MEDIA O BAJA ACTIVIDAD emiten bajas dosis de radiación. Tienen un periodo de desintegración inferior a 30 años. Están formados por herramientas, ropas, piezas de repuesto de las centrales nucleares, hospitales, laboratorios, industrias..., lodos de las depuradoras, etc.

Algunos se eliminan mediante un vertido muy diluido a la atmósfera o al agua en concentraciones pequeñas que no superen los límites legales establecidos. Otros se introducen en contenedores especiales. Hasta 1992 algunos países tiraban estos contenedores al mar, pero ese año se prohibió esta práctica. Actualmente se almacenan en vertederos de seguridad subterráneos, que suelen ser poco profundos.

4.5. DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.

Existen dos tipos de técnicas de tratamiento de suelos contaminados: Las **TÉCNICAS DE AISLAMIENTO** que evitan la propagación de los contaminantes y las **TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN** que recuperan los suelos contaminados.

Tanto las técnicas de aislamiento como las de descontaminación se pueden aplicar de tres formas distintas:

- **Tratamientos IN SITU:** el suelo no se mueve, se trata tal y como está.
- **Tratamientos ON SITE:** el suelo se excava y se trata en instalaciones desplazadas hasta la zona
- **Tratamientos EX SITU:** el suelo se excava, se transporta hasta las instalaciones de tratamiento y una vez tratado se devuelve a su sitio.

4.5.1. TÉCNICAS DE AISLAMIENTO:

Hay tres técnicas de aislamiento:

- **ALMACENAMIENTO**

Es una técnica ex situ que consiste en extraer el suelo y llevarlo a vertederos apropiados

- **SELLADO**

Es una técnica in situ que consiste en excavar una especie de túnel por debajo de la zona contaminada y rellenarlo con un impermeabilizante (cemento, arcilla...) o con un reactivo químico (son las llamadas barreras químicas). De esta forma se aísla la zona contaminada y se impide la dispersión de los contaminantes (figura 28).

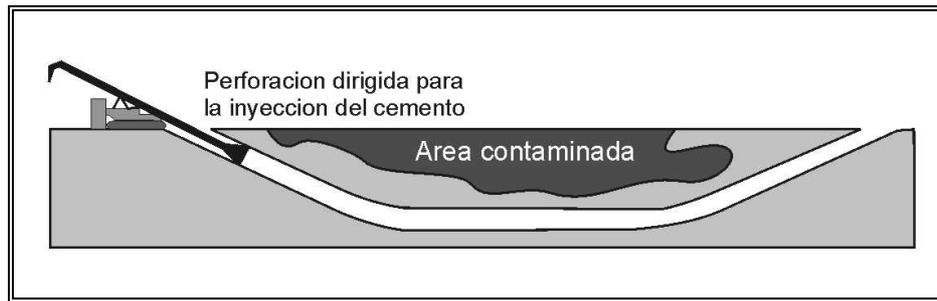


Figura 28. Técnica de sellado para la descontaminación del suelo

• VITRIFICACIÓN

Es una técnica in situ que consiste en fundir el suelo a elevada temperatura mediante una corriente eléctrica (figura 29). Para ello, se introducen en el suelo dos electrodos y se hace pasar una corriente eléctrica. El suelo tiene una resistencia al paso de la corriente, por lo que va aumentando la temperatura del suelo. Evidentemente, los contaminantes volátiles se transforman en gases, se recogen por la salida de gases y se tratan. Se deja aumentar la temperatura lo suficiente para que el suelo funda y al enfriar forme una masa vítrea, en la que quedan integrados y aislados (atrapados) los contaminantes no volátiles.

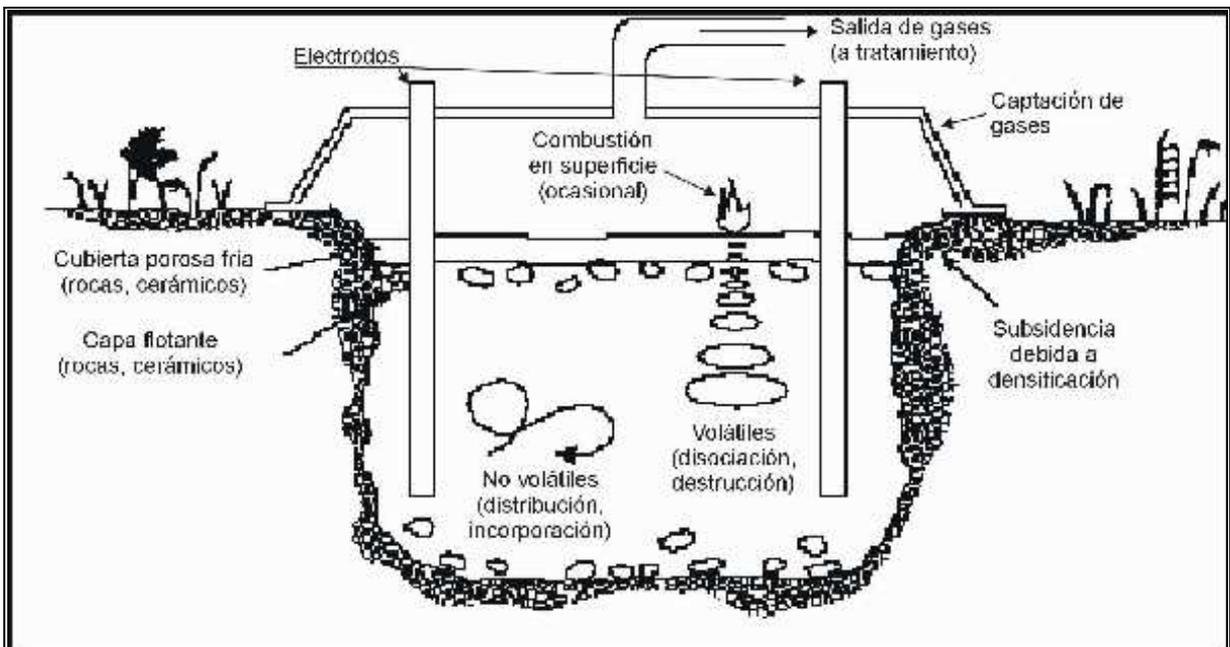


Figura 29. Técnica de vitrificación para descontaminación del suelo.

4.5.2. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN

Básicamente se utilizan 5 técnicas de descontaminación: extracción por fluidos, tratamiento químico, tratamiento electroquímico, tratamiento térmico y tratamiento biológico.

4.5.2.1. EXTRACCIÓN POR FLUIDOS

Consiste en la separación de los contaminantes del suelo mediante un fluido, que puede ser gaseoso (con lo que el método se llama ARRASTRE) o líquido (y se llama LAVADO). Ambos, son métodos muy sencillos, pero exigen que los contaminantes tengan alta movilidad y que sean o volátiles o solubles y que los suelos sean permeables y vulnerables (baja CIC).

La extracción por fluidos suele ser una técnica “in situ”, pero también pueden llevarse a cabo “on site” y “ex situ”, si se aplican después de excavar el suelo y se realiza el tratamiento en instalaciones desplazadas hasta la zona o no.

4.5.2.1.1. ARRASTRE (IN SITU)

Consiste en inyectar un gas en la superficie del terreno y aspirarlo a través de un pozo de succión (figura 30). Normalmente se usa aire, aunque también se puede usar vapor de agua. El aire atraviesa la zona contaminada y arrastra ciertos contaminantes. Cuando sale del pozo se depura normalmente con filtros de carbono activo.

Mediante el arrastre se pueden eliminar contaminantes volátiles y de bajo peso molecular como por ejemplo, xileno, benceno, tolueno, Cl_4C , tricloroetano, cloruro de metilo...

Se pueden tratar grandes volúmenes de suelo a un coste razonable y con una alteración mínima del terreno.

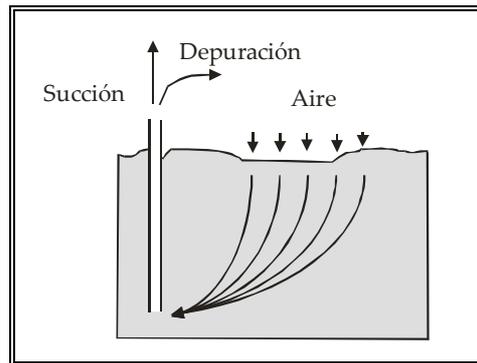


Figura 30. Técnica de arrastre para descontaminación del suelo.

4.5.2.1.2. LAVADO (IN SITU)

Consiste en inyectar agua mediante zanjas y pozos hasta la zona contaminada (figura 31). El agua atraviesa la zona contaminada y disuelve ciertos contaminantes. Después se recoge en unas tuberías horizontales de donde se extrae con bombas a través de los pozos de extracción y se depura.

Es un método válido, lógicamente, para contaminantes solubles en agua

Esta técnica permite el uso de disolventes (para facilitar la extracción), detergentes (contaminantes hidrófobos), o soluciones acidificantes (metales pesados)

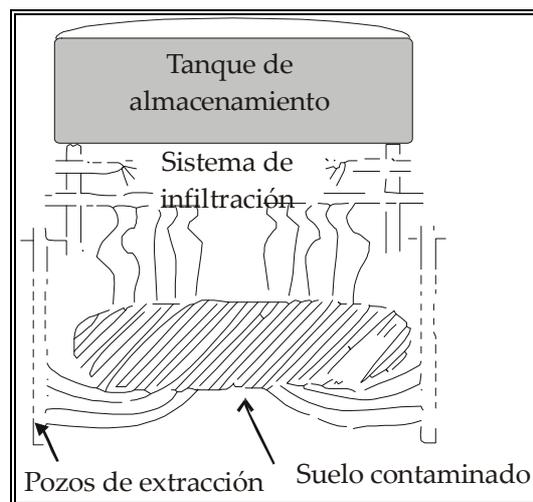


Figura 31. Técnica de lavado para descontaminación del suelo.

4.5.2.2. TRATAMIENTO QUÍMICO

Es un método también “in situ”, que consiste en degradar los contaminantes por reacciones químicas. Las reacciones más típicas son:

- La **oxidación** de aldehídos, ácidos orgánicos, fenoles, CN^- y plaguicidas organoclorados por inyección de O_2 o H_2O_2 en zonas profundas con barrenas huecas
- La **descloración** de PCB (policlorobifenilos) con CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o NaOH . Los PCBs se utilizan como aislantes eléctricos.

4.5.2.3. TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO

Llamado también electroremediación o electrodepuración. Es una técnica de tratamiento in situ que consiste en desplazar los contaminantes mediante campos eléctricos (ver figura 32).

Se introducen dos electrodos en el suelo, un ánodo y un cátodo y una fase acuosa para facilitar el movimiento. Los cationes y partículas cargadas positivamente van al cátodo y los aniones y partículas cargadas negativamente, al ánodo. Después se extraen los contaminantes del ánodo y del cátodo.

Este método no influye en la textura del suelo ni en su permeabilidad y proporciona buenos resultados con los metales pesados y compuestos orgánicos.

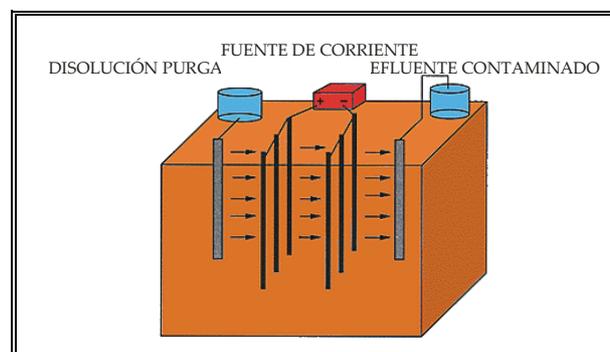


Figura 32. Tratamiento electroquímico para descontaminación del suelo.

4.5.2.4. TRATAMIENTO TÉRMICO

Es una técnica de tratamiento ex situ, es decir, se excava el suelo, se lleva hasta un horno y se destruyen los contaminantes por calor. Se puede llevar a cabo una incineración o una desorción térmica.

En la INCINERACIÓN se somete el suelo a 1000°C para destruir totalmente los contaminantes. Se utiliza para eliminar hidrocarburos poliaromáticos, PCB y clorofenoles.

En la DESORCIÓN TÉRMICA se somete al suelo a 250-550°C. Se utiliza para COV y determinados metales volátiles (Hg).

4.5.2.5. TRATAMIENTO MICROBIOLÓGICO

También llamado bioremediación o biodepuración.

Consiste en degradar la materia orgánica del suelo hasta transformarla en CO₂ y H₂O por medio de microorganismos que degraden los contaminantes. Para ello, se añaden microorganismos al agua o se potencia su crecimiento.

El tratamiento se puede llevar a cabo como técnica in situ, on site o ex situ:

- **IN SITU**

Se usa en suelos permeables con horizontes subsuperficiales contaminados. Se perforan unos pozos hasta la zona contaminada. Por uno de ellos se inyecta agua con microorganismos y nutrientes. Una vez el suelo está descontaminado, se bombea el agua contaminada hacia la superficie y se depura (figura 33).

- **ON SITE**

El suelo es excavado y depositado sobre una piscina de polietileno situada sobre una capa de arcilla (impermeable) y que en el fondo tiene un relleno de arena (inerte) de donde sale el sistema de drenaje. La superficie se riega con la solución de

microorganismos y nutrientes. El agua con los contaminantes sale por el drenaje (figura 34).

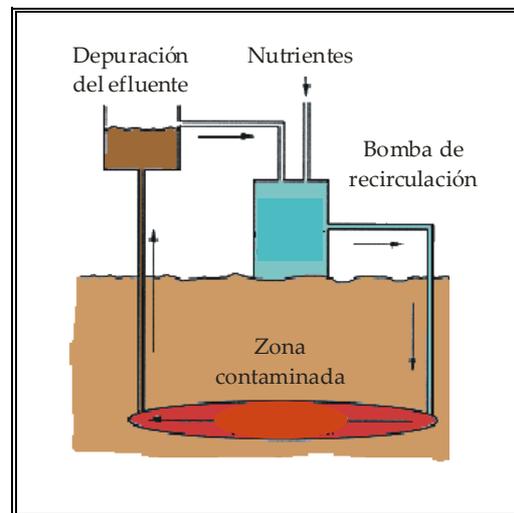


Figura 33. Tratamiento electroquímico IN SITU para descontaminación del suelo.

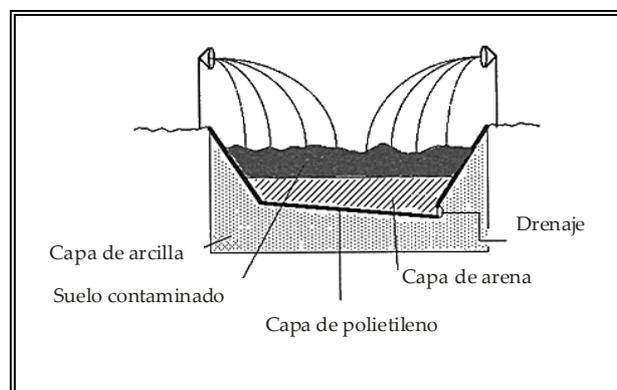


Figura 34. Tratamiento electroquímico IN SITU para descontaminación del suelo.

- **EX SITU**

El suelo se excava y se lleva a unos fermentadores (grandes cilindros que giran sobre su eje para agitar el suelo). Durante el tratamiento se añaden oxígeno y nutrientes, en condiciones de temperatura controlada. Son los que obtienen los mejores resultados.

TEMA 5. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

5.1. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

5.1.1. DEFINICIÓN DE MEDIO AMBIENTE

Según *La Real Academia de la Lengua* el término medio ambiente se puede definir de dos formas distintas:

- el elemento en que vive o se mueve una persona, animal o cosa
- el conjunto de circunstancias físicas, culturales, económicas y sociales que rodea a los seres vivos.

Por lo tanto, el medio ambiente es todo el entorno vital, es decir, todo el conjunto de factores de cualquier tipo (físico, cultural, social...) que nos rodea. También se incluyen en el concepto de medio ambiente las interacciones que puedan producirse entre estos factores.

El medio ambiente implica directamente al hombre, porque hace uso de ese medio ambiente a través de tres vertientes (ver cuadro resumen)

El medio ambiente es **FUENTES DE RECURSOS NATURALES** ya que nos abastece de la materia prima y energía que el hombre necesita para desarrollarse. Los recursos naturales se clasifican en renovables y no renovables.

Los **RECURSOS RENOVABLES** son los que se autoreproducen en el tiempo según una determinada tasa de renovación. Pueden ser:

USOS DEL MEDIO AMBIENTE		
Fuente de recursos naturales	Renovables	Puros o fluentes
		Parcialmente renovables
	No renovables	Consumibles
		No consumibles
Soporte de actividades	Aptitud del medio	
Receptor de efluentes	Aire	
	Agua	
	Suelo	

- **PUROS O FLUENTES:** que son aquellos que no pueden agotarse nunca y se pierden si no se utilizan, por ejemplo el viento, la radiación solar o la energía de las mareas.
- **PARCIALMENTE RENOVABLES:** que son los que pueden perder su carácter renovable si se agotan. Son los biológicos: el suelo, el agua de un acuífero subterráneo, la flora, la fauna...

Los **RECURSOS NO RENOVABLES:** son los que tienen una tasa de renovación tan lenta que se puede considerar que no son renovables. Existen dos clases:

- **CONSUMIBLES:** minerales y combustibles fósiles.
- **NO CONSUMIBLES:** son los de tipo cultural: cuevas, yacimientos, paisajes...

El medio ambiente también es **SOPORTE DE ACTIVIDADES.** Lógicamente, todas nuestras actividades van a tener lugar en el medio ambiente. El medio ambiente tiene una capacidad de acogida para cada actividad, que es el grado de idoneidad que tiene el medio para acoger esa actividad. También se le llama potencialidad o aptitud del medio.

El medio ambiente también es **RECEPTOR DE EFLUENTES.** Toda actividad produce unos bienes deseados o productos (que es lo que se busca con la actividad),

unos subproductos (que no se buscan pero se pueden aprovechar) y unos efluentes (que es lo que hay que desechar). Los efluentes pueden ser emisiones (gases o partículas que se emiten al aire) o vertidos (líquidos o sólidos que se vierten al agua o al suelo). Así, el medio ambiente recibe estos efluentes a través de sus tres vectores ambientales: el aire, el agua y el suelo.

5.1.2. DESARROLLO SOSTENIBLE

La idea de desarrollo sostenible, el concepto, surgió como consecuencia del crecimiento exponencial que han experimentado muchos indicadores productivos a lo largo del siglo XX. Estos indicadores productivos son por ejemplo, la economía. La economía mundial se ha multiplicado por 20; la población se ha quintuplicado; la demanda de energía está aumentando de forma vertiginosa y, como consecuencia, también el consumo de combustibles fósiles que emiten gases invernadero y que están provocando el calentamiento del planeta.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) estimó hace unos años que en el año 2010, la demanda de energía y las emisiones anuales de CO₂ serían un 50% mayor que en 1993. En menos de 20 años, el doble. Está claro que esta forma de desarrollo es un caos desde el punto de vista del medio ambiente.

En 1970, un grupo de gente influyente (empresarios, banqueros) creó un club y lo llamaron “*El club de Roma*”. Este club emitió un informe llamado “*Los límites del crecimiento*”. En él afirmaban que solo con un crecimiento 0 se evitaría el colapso de la civilización antes del año 2100.

En 1972 se celebró en Estocolmo la primera reunión mundial sobre medio ambiente. Se le llamó “*Conferencia sobre Medio Humano*” y participaron 113 países. En ella se reconoció internacionalmente que el desarrollo económico estaba dañando el medio ambiente.

En 1983 la ONU creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD) con el objetivo de que analice la relación entre el desarrollo

económico y el medio ambiente. Cuatro años más tarde, en 1987, esta comisión publicó un informe llamado "Nuestro futuro común" (más conocido como "Informe Brundtland", debido a que la presidenta de la comisión era la primera ministra noruega y se apellidaba así). En él se advierte que la humanidad debe cambiar sus formas de vida si no quiere evitar ese colapso de la civilización. El problema está en la incompatibilidad del dúo medio ambiente-desarrollo, es decir, si hay desarrollo, se daña el medio ambiente y si se protege el medio ambiente no hay desarrollo. Como el desarrollo no se puede frenar, el medio ambiente tiene todas las de perder. Hay que crear políticas de medio ambiente para protegerlo.

Y se crearon, pero hasta 1992, esta política de medio ambiente estaba enfocada de forma puntual, es decir, los problemas de medio ambiente se resuelven después de que aparecen. Cuando hay un problema, se aplica la política medioambiental: se arregla lo que se pueda y se sanciona al culpable.

Sin embargo, en 1992, hubo una Conferencia en Río de Janeiro que se llamó Conferencia o Cumbre de la Tierra Río'92 y fue promovida por la ONU. Esta conferencia constituyó la "Primera Conferencia mundial sobre el desarrollo sostenible". Después se han ido celebrando más, una cada 5 años. Pues bien, en la cumbre de Río'92 participaron 179 países. Dio lugar a un cambio de mentalidad: no basta con sancionar al culpable y arreglar lo que se pueda, hay que prevenir y evitar los desastres medioambientales antes de que aparezcan. Hay que proteger el medio ambiente. Se introduce en Río'92 la idea de globalidad, es decir, integrar la variable medioambiental en los planes y proyectos que se vayan a implantar.

A partir de esta conferencia de Río se empezaron a buscar soluciones para proteger el medio ambiente, fórmulas que eliminen o suavicen las acciones que dañan el medio ambiente. Se trata de cambiar la idea de desarrollo que ha habido hasta hace muy poco por otro tipo de desarrollo que sea mucho más respetuoso con el medio ambiente y que no conduzca al caos al que se ve que va el planeta. Este desarrollo es el que se conoce como desarrollo sostenible.

Las soluciones o fórmulas que se adoptaron para el desarrollo sostenible se basan en respetar los tres usos del medio ambiente (ver cuadro resumen)

USOS DEL MEDIO AMBIENTE		DESARROLLO SOSTENIBLE
Fuente de recursos naturales	Parcialmente renovables	Tasa de renovación
	Consumibles	Ritmos de consumo
	No consumibles	Intensidad de uso
Soporte de actividades	Aptitud del medio	Capacidad de acogida
Receptor de efluentes	Aire	Capacidad dispersión atmosférica
	Agua	Capacidad de autodepuración
	Suelo	Capacidad de autodepuración

Como el medio ambiente es fuente de recursos, la dirección hacia un desarrollo sostenible conlleva:

- Usar los recursos parcialmente renovables por debajo de su tasa de renovación, es decir, dejar que se recuperen por sí mismos. Por ejemplo, controlando la tala de árboles, acotando la caza y la pesca, etc.
- Usar los recursos consumibles a un ritmo de consume asumible por el medio ambiente como es el caso del petróleo, del carbón o del gas natural.
- Usar los recursos no consumibles con una intensidad de uso asumible y coherente. Por ejemplo, limitando el número de personas que visitan las cuevas o el número de coches que entran en los parque naturales.

Como el medio ambiente es el soporte de nuestras actividades, la dirección hacia un desarrollo sostenible conlleva situar las actividades en territorios y ecosistemas que tengan una alta capacidad de acogida para ellas y desechando los que sean frágiles.

Y como el medio ambiente es receptor de efluentes, la dirección hacia un desarrollo sostenible conlleva programar las actividades respetando la capacidad de asimilación de los vectores ambientales (aire, agua y suelo).

En la Cumbre de Río se analizaron, en primer lugar, las actuaciones que había ido desarrollándose durante las dos décadas anteriores (del 72 al 92). Se planteó a los países que cumplieran con una serie de objetivos que se materializaron en varios documentos básicos que han sido más o menos ratificados por los 179 países participantes. Estos documentos son los siguientes:

- a) La DECLARACIÓN DE RÍO: que da líneas generales para el desarrollo sostenible:
 - marca los derechos y deberes en materia de medio ambiente y desarrollo.
 - propone la radicalización de la pobreza para poder llegar a un desarrollo sostenible.
 - obliga a los estados a promulgar leyes efectivas sobre medio ambiente.
 - promulga la necesidad de internalizar los costes ambientales tanto por las autoridades como por las empresas (la globalidad). Es decir, hay que tratar al medio ambiente como si fuera una variable empresarial más, tan importante como la económico - financiero, la de procesos, la de marketing, o cualquier otra.
 - recomienda aplicar la EIA para cualquier actividad de nueva implantación
 - establece que las mujeres y los pueblos indígenas tienen un papel importante en el desarrollo sostenible.
- b) PROGRAMA 21 O AGENDA 21: que es un manual de referencia.
- c) CONVENIO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO: para disminuir progresivamente LAS EMISIONES DE CO₂ Y Otros gases de efecto invernadero. De él deriva el Protocolo de Kyoto.
- d) CONVENIO SOBRE BIODIVERSIDAD: para proteger las riquezas biológicas.
- e) ACUERDO SOBRE DESERTIFICACIÓN: para evitar la sequía y desertización.
- f) DECLARACIÓN DE PRINCIPIO SOBRE BOSQUES: en el que se reconoce el derecho de los países a explotar sus bosques, pero se les insta a que se esfuercen en conservarlos y en reforestar.

A los 5 años (en 1997) se celebró una segunda cumbre en Nueva York, conocida como Río+5 para comprobar los efectos de la de Río. Se vieron pocos efectos positivos, porque hay muchos problemas que resolver, demasiados intereses particulares de los países, ya se sabe. Y además 5 años son muy pocos para poder ver resultados.

La del 2002 en Johannesburgo se le conoce como Río+10. Acudieron 186 delegaciones entre países y otras instituciones. Esta cumbre sirvió para ver como Río'92 se convertía en una declaración de intenciones y promesas y sus objetivos no se estaban cumpliendo. Lo que sí se vio es que estaba aumentando la presión social, de forma que algunas organizaciones no gubernamentales estaban logrando algunas de sus reivindicaciones.

En el año 2007 (Río+15) se ha celebrado en Yakarta (Indonesia). El compromiso firme de esta cumbre se basa en la redistribución justa de la riqueza mundial. Las medidas que se han tomado en esta cumbre son las siguientes:

- crear un sistema de gobierno mundial que gestione no solo los recursos naturales sino también los bienes públicos mundiales como la paz y las culturas
- reformar las instituciones internacionales (transformar la ONU en un parlamento mundial)
- crear un Tribunal Internacional sobre la deuda externa e indicadores de la deuda social y ecológica
- poner fin al monopolio de las patentes
- crear nuevos indicadores para la conservación del medio ambiente, la sostenibilidad social y el efecto de las externalidades negativas
- aplicar un impuesto en transacciones financieras internacionales
- promover la educación para la sostenibilidad.

5.2. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL O ECOGESTIÓN

El término gestión se define como la realización de diligencias para conseguir un objetivo. El objetivo de la gestión ambiental, también llamada ecogestión, es que la sociedad tenga una calidad ambiental aceptable, alta.

La calidad ambiental es uno de los componentes de la calidad de vida de un individuo. Los otros son el nivel de renta y el bienestar social (figura 35).



Figura 35. Componentes de la Calidad de Vida y evolución espacial y temporal

La importancia relativa que la sociedad, en general, le da a estos tres elementos varía en función del momento histórico y de la zona del planeta. En un principio, la calidad de vida se basa exclusivamente en el nivel de renta, de forma que prácticamente todas las decisiones que se toman y los esfuerzos que se hacen, tienen en cuenta sólo este factor económico. A medida que un país se va desarrollando, va cubriendo sus necesidades básicas, como alimento, vivienda, sanidad..., y por lo tanto, deja de tener importancia el nivel de renta, y empiezan a cobrar importancia los otros factores, primero el bienestar social y, por último, la calidad ambiental.

Actualmente los países desarrollados se están esforzando en conseguir la calidad ambiental. Sin embargo, los países menos desarrollados, situados en latitudes sur, tienen todavía la base de su desarrollo en el nivel de renta y no les preocupa la

calidad ambiental. Por eso, la Declaración de Río propone como uno de los principios básicos para el desarrollo sostenible la erradicación de la pobreza. De nada le sirve a un país proteger el medio ambiente con una política maravillosa, si su vecino, está todavía pensando en alcanzar un nivel de renta aceptable y, no puede realizar ningún esfuerzo económico en gestionar el medio ambiente.

La gestión de la calidad ambiental se puede llevar a cabo mejorando las tecnologías para contaminar menos y/o contaminando en el sitio que esté más preparado para ello, es decir, integrando las actividades, las obras o los proyectos en un entorno apropiado.

Por lo tanto, hay dos factores implicados en la gestión ambiental: el ELEMENTO ACTIVO que son las actividades que causan los problemas y el ELEMENTO PASIVO (también llamado ENTORNO) que es la parte del medio ambiente que interacciona con la actividad. El conocimiento de las características de ambos elementos es fundamental a la hora de integrar las actividades en el entorno en el que se ubican. Por un lado, el conocimiento de la actividad no comporta lógicamente ningún problema. Por el contrario, el estudio del entorno es muy complejo y se lleva a cabo dividiendo el entorno en forma de árbol (tabla 22), como se indica a continuación.

El primer nivel del árbol serían los subsistemas. Hay cinco subsistemas, que se dividen en medios, por ejemplo el subsistema físico natural se divide en los medios inerte y biótico. Los medios, a su vez, se dividen en factores ambientales, por ejemplo, el medio inerte se divide en aire, clima, tierra...). Estos factores son realmente el elemento pasivo de la gestión ambiental, es decir, son los que reciben los efectos del elemento activo.

La parte de un factor ambiental que se puede explotar, se denomina recurso ambiental, que también puede verse afectado por una actividad.

Cada uno de estos factores ambientales tiene un valor, es decir, un conjunto de cualidades que hacen que sea necesaria o aconsejable su conservación. El valor puede ser ecológico, productivo, paisajístico, sociocultural, etc.

Tabla 22. Árbol de factores.

SUBSISTEMAS	MEDIOS	FACTORES
1. Físico natural	1.1 Medio inerte	1.1.1. Aire
		1.1.2. Clima. Condiciones climáticas
		1.1.3. Tierra - suelo.
		1.1.4. Aguas continentales.
		1.1.5. Procesos entre los elementos del medio
		1.1.6. Medio marino y costero.
	1.2. Medio biótico.	1.2.1. Vegetación o flora.
		1.2.2. Fauna.
		1.2.3. Procesos del medio biótico.
		1.2.4. Ecosistemas especiales
2. Perceptual	2.1 Medio perceptual.	2.1.1. Paisaje intrínseco
		2.1.2. Intervisibilidad
		2.1.3. Componentes singulares del paisaje
		2.1.4. Recursos científico-culturales.
3. Población y poblamiento	3.1. Usos del suelo rústico.	3.1.1. Uso recreativo al aire libre.
		3.1.2. Uso productivo.
		3.1.3. Conservación de la naturaleza.
		3.1.4. Viario rural
	3.2. Características culturales y relaciones económicas	3.2.1. Características culturales
		3.2.2. Actividades y relaciones económicas
	3.3. Infraestructuras	3.3.1. Infraestructura viaria.
		3.3.2. Infraestructura no viaria.
	3.4. Estructura urbana	3.4.1. Morfología
		3.4.2. Planeamiento urbanístico
4. Socio económico.	4.1. Población.	4.1.1. Dinámica poblacional.
		4.1.2. Estructura poblacional
		4.1.3. Densidad de población.
	4.2 Economía	4.2.1. Renta.
		4.2.2. Finanzas y sector público.
		4.2.3. Actividades y relaciones económicas.
5. Núcleos e infraestructuras	5.1. Infraestructuras y servicios	5.1.1. Infraestructura viaria
		5.1.2. Infraestructura no viaria
		5.1.3. Equipamientos y servicios.

5.2.1. IMPACTOS DE UNA ACTIVIDAD SOBRE EL ENTORNO

Recordemos que el ENTORNO de una actividad es la porción de medio ambiente que interacciona con ella, es decir, el conjunto de factores ambientales que se van a ver afectados por esa actividad.

Las alteraciones que una actividad produce en su entorno se conocen con el nombre de IMPACTOS AMBIENTALES. Lógicamente un impacto ambiental depende tanto de la naturaleza y tamaño de la actividad como de su entorno.

No son impactos ambientales las alteraciones ambientales producidas por fenómenos naturales, como tormentas, tornados, volcanes... ya que no están provocados por una actividad

5.2.2. LOS SISTEMAS DE GESTION MEDIOAMBIENTAL (SGMA)

Un SGMA es un método de trabajo para conseguir que una entidad (pública o privada) tenga un determinado comportamiento medioambiental.

Los objetivos que persiguen los SGMA se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Cumplir la legislación vigente.
- Fijar la política medioambiental interna de la empresa y los procedimientos necesarios
- Identificar, interpretar, valorar y prevenir los impactos medioambientales
- Proveerse de recursos y personal cualificado

Salvo que el SGMA sea de obligado cumplimiento legal, el primer paso en la implantación del SGMA, debe es establecer el comportamiento medioambiental de la entidad, bien por el equipo directivo en el caso de entidades privadas o bien por las autoridades en el caso de entidades públicas. Así, cada empresa y administración (Diputación, Ayuntamiento, Gobierno, Estado...) tendrá su propia política ambiental y su propio SGMA adaptado a sus necesidades.

Sin embargo, todos los SGMA deben basarse al menos en los siguientes principios:

- Cumplimiento de las normas legales y de la política ambiental de la empresa.
- Unidad de gestión del medio ambiente.
- Elaboración de procedimientos operativos.
- Evaluación del Impacto ambiental.
- Ahorro de recursos.
- Prioridad a la prevención respecto a la corrección.
- Minimización de residuos en su origen.
- Vigilancia, control y registro de los impactos mediante auditorías medioambientales.
- Formación e información interna y externa.

5.2.3. INSTRUMENTOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

Los instrumentos de gestión ambiental se clasifican en preventivos y correctivos, según el momento de su aplicación. Los preventivos están dirigidos a evitar los impactos ambientales de actividades de nueva implantación y los correctivos se aplican a actividades que ya están en funcionamiento, paliando de alguna forma los impactos que provocan.

La tabla 23 muestra un esquema de algunos de los instrumentos de gestión medioambiental más utilizados.

Tabla 23. Instrumentos de la gestión medioambiental.

PREVENTIVOS (para actividades de nueva implantación)	
Indirectos	<p>Formación, sensibilización y educación ambiental de todos los agentes implicados en la actividad</p> <p>Investigación básica y tecnológica en todas las fases de producción</p> <p>Normativa legal, por parte de la administración aprobando leyes que incluyan: limitación de efluentes, estándares...</p>
Directos	<p>Planificación y diseño de todos los proyectos de forma integrada con el medio ambiente</p> <p>Evaluación estratégica ambiental (EEA) y Evaluación de impacto ambiental (EIA): métodos para estudiar los impactos ambientales de programas y proyectos, respectivamente.</p> <p>Normalización de los productos: Una norma es un documento, accesible al público, que contiene unas pautas de actuación para asegurar la calidad, ya sea de producto (ISO 9000 por ejemplo) o la del medio ambiente (ISO 14000 por ejemplo). Actualmente, se están implantando los planes integrados de gestión, basados en la calidad del producto, del medio ambiente y en los planes de prevención de riesgos laborales y en la gestión I+D+i.</p> <p>Calidad total de diseño (GCT). Es una técnica que tiene como fin la satisfacción del cliente y se basa en asegurar la calidad de diseño (referente a las características inherentes al producto o servicio) y de conformidad (referente a la ausencia de deficiencias en los productos o servicios).</p> <p>Autorregulación: iniciativas de la empresa para regularse a sí misma en materia de medio ambiente.</p> <p>Económicos: por parte de la Administración Pública: impuestos, cánones, subvenciones ...</p> <p>Programas de inversión ética de carácter financiero, que consisten en dar apoyo financiero sólo a aquellas compañías que respeten el medio ambiente.</p>

(sigue) Tabla 23. Instrumentos de la gestión medioambiental.

CORRECTIVOS (para actividades en funcionamiento)	
Distintivos	Etiquetado ecológico (EE). Está regulado por un Reglamento, según el cual los productos manufacturados según los procedimientos de ese reglamento pueden ir rotulados con un logotipo o etiqueta ecológica
Fedatarios¹	Ecobalance (ACV): Consiste en valorar el impacto ambiental total de un producto desde la extracción de materias primas hasta el rechazo de envases o residuos una vez consumido, pasando por el transporte hasta la planta, almacenamiento, proceso de fabricación, envasado, transporte hasta los consumidores.. Auditoría ambiental (AMA): procedimiento para evaluar de forma documentada y periódica las actividades en funcionamiento Plan de vigilancia ambiental (PVA) procedimiento para comprobar que se cumplen las indicaciones y las medidas correctoras y protectoras impuestas por otros instrumentos, ya sean preventivos (EIA) o correctivos (AMA).
Ejecutivos²	TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN Restauración: llevar el factor a la situación que tenía antes de ser afectado. Rehabilitación: interrumpir el proceso de deterioro y reconstruir la parte del factor alterada. TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Conservación: para mantener la calidad ambiental del factor. Mejora: para incrementar la calidad ambiental del factor. Reutilización: darle un valor ambiental distinto del que tenía antes de ser impactado. Puesta en valor de factores sin valor ambiental: dar un valor ambiental. INSTRUMENTOS DE COMPENSACIÓN Sustitución del impacto negativo por otro positivo en el mismo lugar. Contraprestación: contrarrestar un impacto negativo con otro positivo en distinto lugar

¹ Están basados en certificados, es decir, mediante un documento se certifica que se cumple con una situación ambiental determinada.

² Actúan sobre el factor afectado

5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

5.3.1. DEFINICIÓN

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un instrumento de gestión medioambiental de tipo preventivo y directo. Es un procedimiento jurídico - administrativo para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales que produciría un proyecto en el medio ambiente en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo, modificarlo o rechazarlo.

5.3.2. CLASES DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La EIA se puede clasificar en función del momento en el que se realiza o en función del proyecto o actividad que es objeto de estudio.

En función del MOMENTO en que se lleve a cabo la EIA, ésta puede tener un carácter reactivo, semiadaptativo o adaptativo. En la figura 36 se pueden ver el proceso de toma de decisiones en los tres casos mencionados:

- La EIA tiene carácter REACTIVO cuando se somete el proyecto a EIA después de haber tomado la decisión de ejecutarlo. Evidentemente es un método desaconsejable, porque de los tres tipos de decisión que se pueden tomar en una EIA (que son la aceptación, la modificación o el rechazo) sólo es real la aceptación. Es difícil e ineficaz modificar el proyecto e imposible el rechazo, porque la decisión ya está tomada.
- La EIA tiene carácter SEMIADAPTATIVO cuando primero se somete al proyecto a EIA y luego se toma la decisión. Este enfoque es el que más común actualmente, y supone una importante mejora respecto al anterior, porque te permite tomar cualquiera de las tres decisiones.
- La EIA tiene carácter ADAPTATIVO. Es el proceso idóneo porque considera que todo proyecto está incluido en un plan de actuaciones que ya ha sido sometido a EEA y que, por lo tanto, ya está ambientalmente integrado.

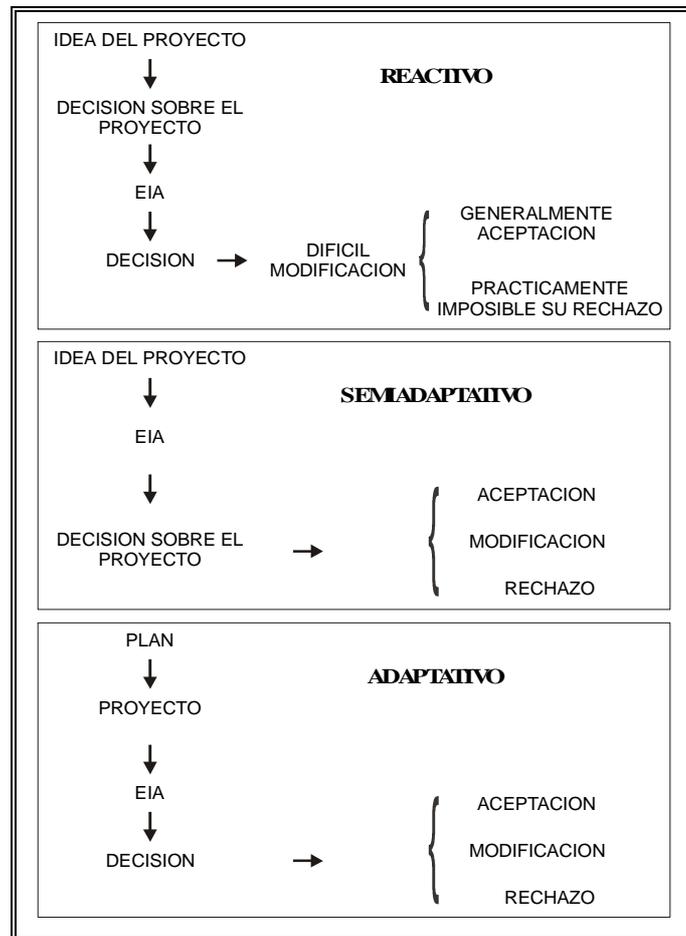


Figura 36. Proceso de toma de decisiones en el caso de la EIA de tipo reactivo, semiadaptativo y adaptativo.

La EIA también puede clasificarse en función del TIPO DE PROYECTO de que se trate:

- **EL INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL:** que se aplica a proyectos a los que, en principio, se les supone un impacto poco importante. Consiste en identificar los impactos ambientales del proyecto y realizar una pequeña valoración.
- **La EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE IMPACTO AMBIENTAL:** que se aplica a proyectos a los que, en principio, se les supone un impacto ambiental medio. Consiste en identificar y valorar de forma cualitativa los impactos ambientales.
- **La EVALUACIÓN PRELIMINAR DE IMPACTO AMBIENTAL:** que se aplica a proyectos a los que se les supone de antemano un impacto ambiental importante. Contiene todas las fases de la EIA, todas las fases que están en los reglamentos:

identificación, caracterización, valoración cualitativa y cuantitativa de impacto ambiental, formulación de medidas correctoras y establecimiento de un Programa de Vigilancia Ambiental. Esta EIA se hace únicamente con la información que se tenga de antemano sobre el proyecto y algunas pocas medidas de campo.

- La EVALUACIÓN DETALLADA DE IMPACTO AMBIENTAL: Es la EIA completa. Es un proceso con el mismo contenido que la evaluación preliminar pero realizado con mucha más información: se hacen campañas de muestreo, muchas más medidas de campo, encuestas...

Hay que tener en cuenta, que algunas Comunidades Autónomas y Ayuntamientos tienen competencia en materia de medio ambiente y pueden elaborar su propia normativa de EIA. Por lo tanto la EIA puede variar según la administración en la que se ubique el proyecto: local, foral, autonómica o estatal.

Existe, además, otro tipo de EIA: la Evaluación Estratégica Ambiental (EEA). Es un procedimiento para evaluar los impactos ambientales de planes y programas.

BIBLIOGRAFÍA

“CONTAMINACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL. II CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA”. Julio L. Bueno, Herminio Sastre, Antonio G. Lavín. FICYT, Oviedo 1997

“CONTAMINACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL. III CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS”. Julio L. Bueno, Herminio Sastre, Antonio G. Lavín. FICYT, Oviedo 1997

“CONTAMINACIÓN E INGENIERÍA AMBIENTAL. IV DEGRADACIÓN DEL SUELO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS”. Julio L. Bueno, Herminio Sastre, Antonio G. Lavín. FICYT, Oviedo 1997

“INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN Y SU CONTROL”. Alfonso Contreras López, Mariano Molero Meneses. UNED, Madrid 1995.

“INGENIERÍA DEL MEDIO AMBIENTE”. Mariano Seoáñez Calvo. Coedición: Ediciones Mundi - Prensa / Análisis y trabajos prospectivos, S.L. Madrid 1996.

“EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL”. Domingo Gómez Orea. Coedición: Ediciones Mundi - Prensa / Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid 1999.

http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/homeC.htm

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>

<http://www.fisicaysociedad.es/fys/ca/definiciones/analisis.htm>

<http://www.uclm.es/users/higuera/mam/MAM4.htm>

<http://www.uclm.es/users/higuera/mam/MAM10.htm#TConf>

<http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/00General/IndiceGral.html>

http://www.mma.es/info_amb/estado_ma/memor/memoria00/cap3a2.pdf

<http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-579/es/>