

# **FUNDAMENTOS DE MEDIO AMBIENTE**



**MARÍA DOLORES ENCINAS MALAGÓN**

**Libro de apoyo a la docencia**

Año de publicación: 2009

Edición: Primera

ISBN: 978-84-613-5443-6

**INDICE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>TEMA 1. EL SISTEMA MEDIO AMBIENTE. CONTAMINACIÓN</b> | <b>5</b>  |
| <b>TEMA 2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA</b>                | <b>6</b>  |
| 2.1. LA ATMÓSFERA. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA             | 6         |
| 2.2. BALANCE ENERGÉTICO                                 | 9         |
| 2.3. PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA               | 11        |
| 2.4. CALIDAD DEL AIRE                                   | 32        |
| 2.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA            | 35        |
| <b>TEMA 3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA</b>                   | <b>41</b> |
| 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA                           | 41        |
| 3.2. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA                          | 43        |
| 3.3. SUBSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA                 | 44        |
| 3.4. CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES                 | 49        |
| 3.5. DEPURACIÓN DE VERTIDOS                             | 56        |
| 3.6. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS            | 66        |
| <b>TEMA 4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO</b>                  | <b>69</b> |
| 4.1. PROPIEDADES DEL SUELO                              | 69        |
| 4.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL SUELO                    | 72        |
| 4.3. CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SUELO              | 74        |
| 4.4. RESIDUOS   | 75        |
| 4.5. DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.           | 79        |
| <b>TEMA 5. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL</b>                   | <b>87</b> |
| 5.1. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE             | 87        |
| 5.2. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL O ECOGESTIÓN                | 89        |
| 5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)              | 93        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                     | <b>97</b> |



## TEMA 1. EL SISTEMA MEDIO AMBIENTE. CONTAMINACIÓN

CONTAMINACIÓN: 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.

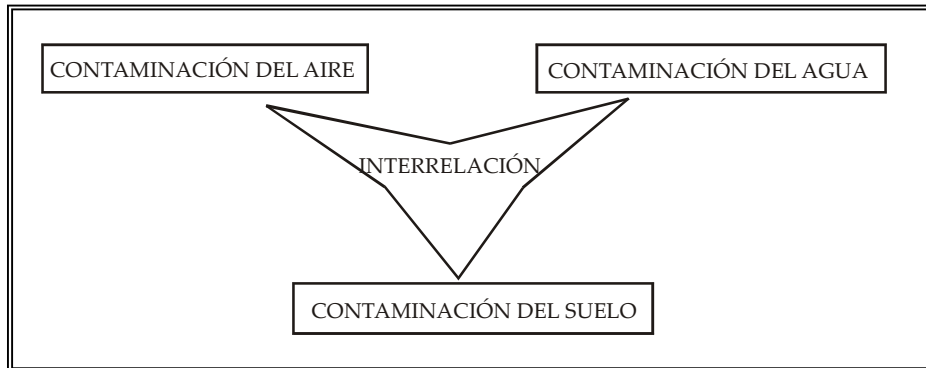


Figura 1. Esquema de relación existente entre la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo.

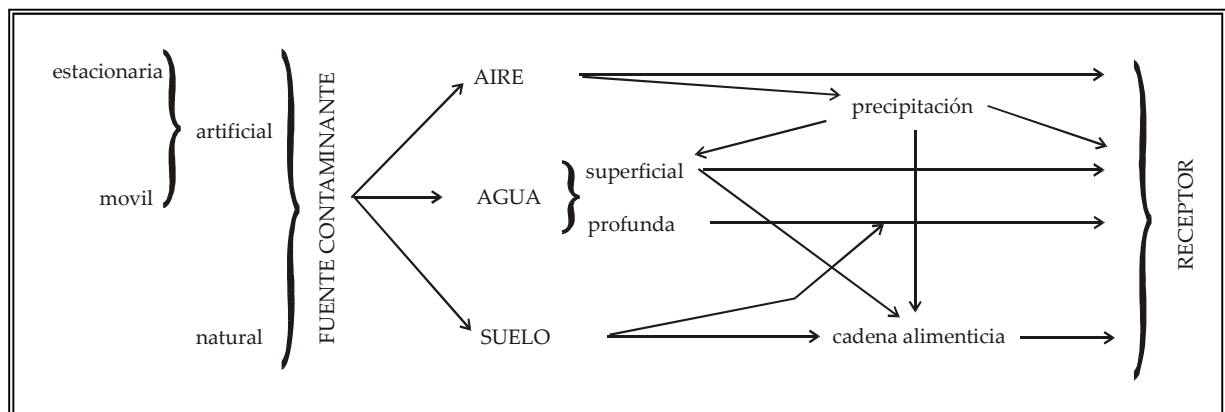


Figura 2. Esquema general del proceso de contaminación.

Nivel de emisión → velocidad a la que es emitido por la fuente → masa / tiempo

Nivel de inmisión → concentración en el medio → masa / volumen.

## TEMA 2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

### 2.1. LA ATMÓSFERA. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

#### 2.1.1. COMPOSICIÓN

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

| Componente      | % (en volumen) |
|-----------------|----------------|
| N <sub>2</sub>  | 78.084         |
| O <sub>2</sub>  | 20.946         |
| Ar              | 0.934          |
| CO <sub>2</sub> | 0.033          |

#### 2.1.2. ESTRUCTURA

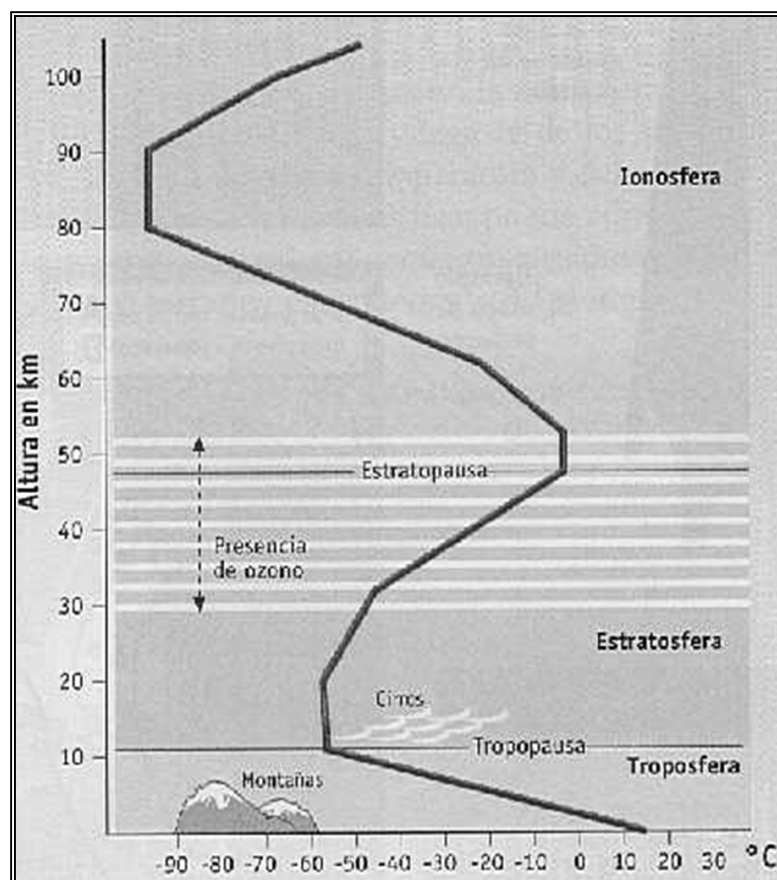


Figura 3. Estructura vertical de la atmósfera. Perfil de temperatura

### 2.1.3. INVERSIÓN TÉRMICA DE SUPERFICIE

DEFINICIÓN: Inversión del gradiente de temperatura en las capas cercanas al suelo durante el invierno.

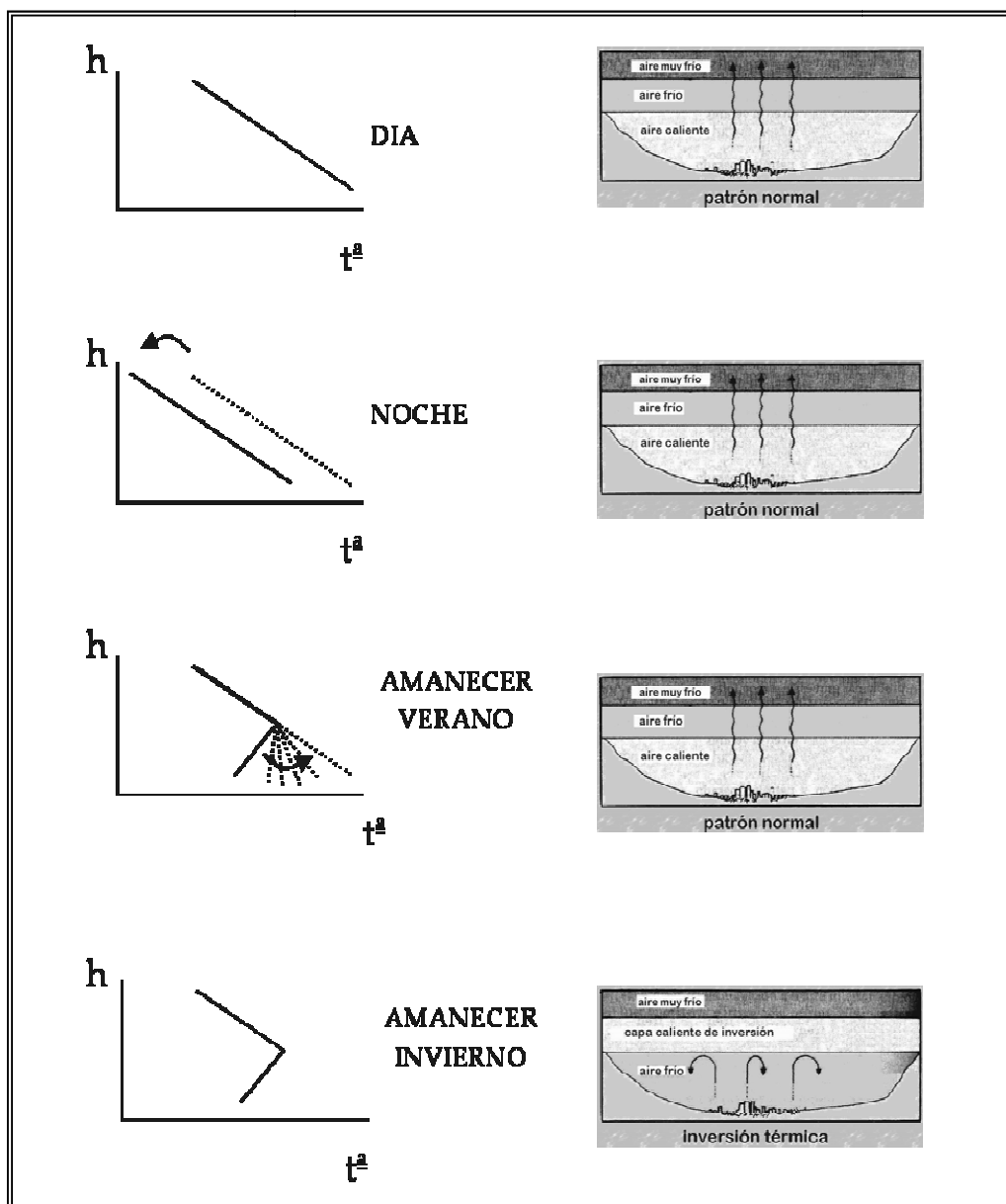


Figura 4. Proceso de inversión térmica de superficie.

**DIA**

Gradiente negativo de temperatura. No hay inversión térmica. Los contaminantes se dispersan.

**NOCHE**

Se enfrían el suelo y el aire. Gradiente negativo de temperatura. No hay inversión térmica. Los contaminantes se dispersan

**AMANECER VERANO**

El aire y el suelo se calientan rápidamente. El gradiente negativo de temperatura se restablece en seguida. Los contaminantes se dispersan

**AMANECER INVIERNO**

El aire se calienta rápidamente pero el suelo y las capas de aire más bajas no. El gradiente positivo de temperatura permanece. Si hay inversión térmica: capa de aire caliente entre 2 capas de aire frío. Los contaminantes no pueden ascender. Acumulación.



## 2.2. BALANCE ENERGÉTICO

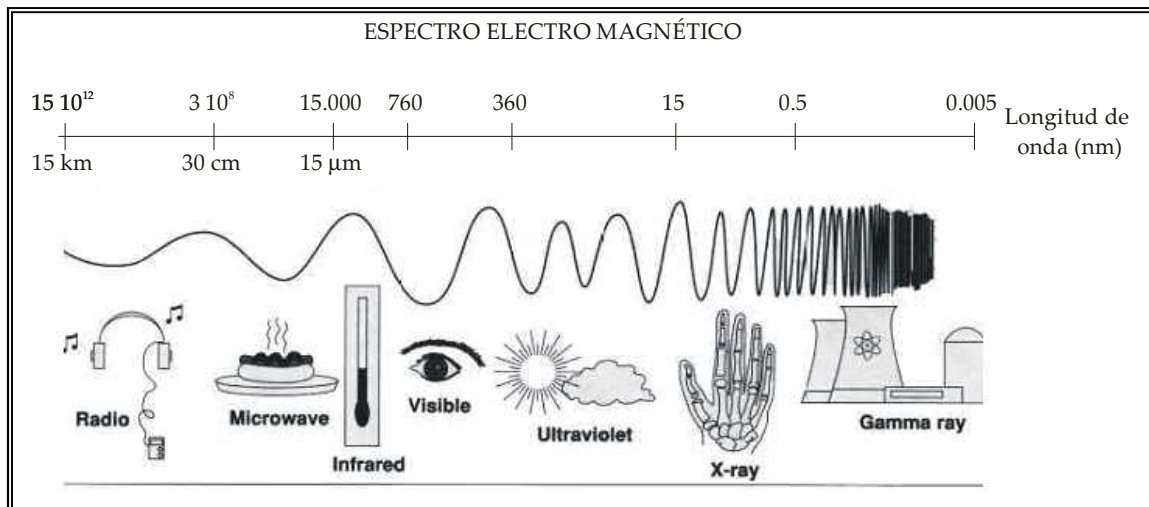


Figura 5. El espectro electromagnético.

### FENÓMENOS QUE MODIFICAN EL CURSO DEL FLUJO SOLAR:

- **DISPERSIÓN:** Las partículas pequeñas y las moléculas de gases difunden parte de la radiación solar, sin alterar su longitud de onda.
- **ABSORCIÓN:** transferencia de la energía de la radiación a los constituyentes atmosféricos. Algunos gases (O<sub>2</sub>, vapor de H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> principalmente) absorben parte de la radiación solar y la convierten 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.
- **REFLEXIÓN:** parte de la radiación solar incidente es devuelta al espacio por las nubes y las partículas presentes en la atmósfera. Albedo: cantidad de energía reflejada de forma global (nubes, difusión y reflexión de 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  $\text{O}_2$  de las capas altas de la atmósfera absorbe la radiación de menos de 200 nm convirtiéndose en  $\text{O}_3$ . A su vez, el  $\text{O}_3$  absorbe la radiación de hasta 300 nm, por lo que, gracias al  $\text{O}_2$  y al  $\text{O}_3$ , la Tierra se encuentra protegida contra la radiación UV. (De ahí la alarma surgida al comprobar que el  $\text{O}_3$  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  $\text{H}_2\text{O}$ , las nubes y el  $\text{CO}_2$ .

### 2.3. PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA según la “Ley 3/98, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco”: 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.

1. Emisión → Nivel de emisión (velocidad a la que es emitido por la fuente) → masa / tiempo
2. Dispersión y transformación → Nivel de inmisión (concentración en el medio) → masa/volumen
3. Efectos sobre los receptores.

Ejemplo: el proceso de contaminación que seguiría el gas SO<sub>2</sub> emitido a través de la chimenea de una empresa sería el siguiente:

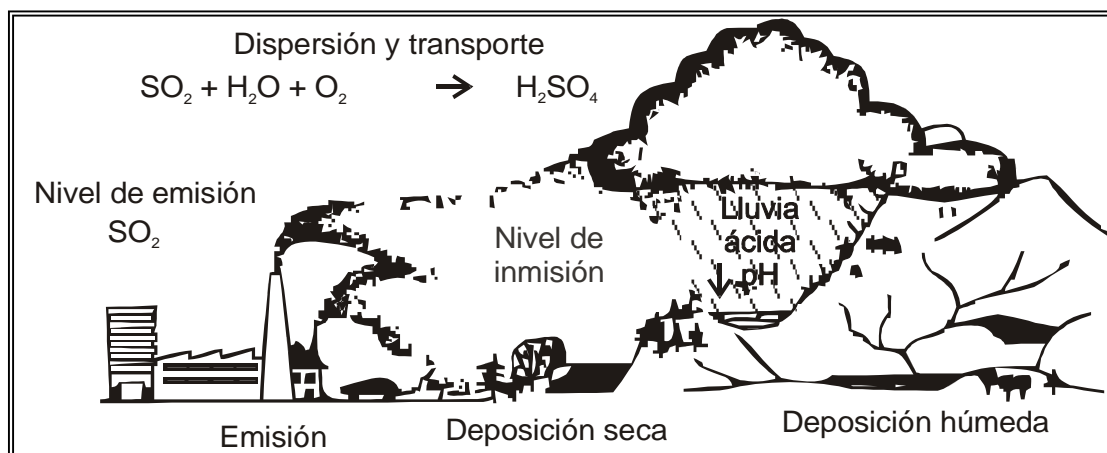


Figura 6. Proceso de contaminación atmosférica (emisión, transporte/dispersión/dilución/reacciones químicas, deposición/efectos) del óxido de azufre emitido por la chimenea de una industria.

Una vez emitido al aire (lo que dará lugar al nivel de emisión, g de SO<sub>2</sub> por hora), se produce la dispersión y el transporte del penacho, y, por consiguiente, la dilución del contaminante. La concentración de SO<sub>2</sub> en un punto lejano a la fuente es su nivel de inmisión (µg de SO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de aire). Durante el proceso de dispersión tienen lugar, además, las lógicas reacciones de oxidación que el SO<sub>2</sub> va a sufrir al encontrarse con una atmósfera oxidante. Se oxidará a SO<sub>3</sub> y se transformará en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En este ejemplo, el SO<sub>2</sub> sería un contaminante primario y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sería un contaminante secundario. Finalmente, el contaminante o su producto de reacción, se deposita sobre los sistemas receptores, dando lugar a los efectos.

UNIDADES para expresar el nivel de inmisión de un contaminante:

- masa del contaminante por unidad de volumen de aire  
mg m<sup>-3</sup> (10<sup>-3</sup>), µg m<sup>-3</sup> (10<sup>-6</sup>), ng m<sup>-3</sup> (10<sup>-9</sup>)
- volumen de contaminante por unidad de volumen de aire  
ppm (ml m<sup>-3</sup>) (10<sup>-6</sup>), ppb (µl m<sup>-3</sup>) (10<sup>-9</sup>)

1996: La UE 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

CONTAMINANTE ATMOSFÉRICO: 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.

NIVEL BASE DE UN CONTAMINANTE: (concentración base o background) concentración que presenta ese contaminante en un medio no contaminado.

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 <sub>2</sub>                | 5 - 25 µg m <sup>-3</sup> (1.8 - 8.8 ppb)    | 52.2 - 5224.5 µg m <sup>-3</sup> |
| CO <sub>2</sub>                | 0.648 g m <sup>-3</sup> (330 ppm)            | 0.63 - 1.26 g m <sup>-3</sup>    |
| CO                             | 60 - 140 µg m <sup>-3</sup> (4.8 - 11.2 ppb) | 0.19 - 0.25 g m <sup>-3</sup>    |
| NO <sub>2</sub>                | 0.4 - 9.4 µg m <sup>-3</sup> (0.2 - 4.6 ppb) | 18.8 - 938.8 µg m <sup>-3</sup>  |
| Hidrocarburos<br>(como hexano) | 3.2 mg m <sup>-3</sup> (0.9 ppm)             | 3.2 - 63.7 mg m <sup>-3</sup>    |
| Partículas                     | 10 µg m <sup>-3</sup>                        | 70-700 µg m <sup>-3</sup>        |

### 2.3.2. FUENTES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Tabla 3. Principales fuentes de contaminación atmosférica.

| Fuentes Naturales   | Fuentes Artificiales  |   |
|---|---|---|
|   | Fijas   | Móviles   |
| Volcanes<br>Incendios forestales por rayos<br>Plantas en descomposición<br>Océanos<br>Suelo<br>Tormentas eléctricas | Centrales térmicas<br>Centrales nucleares<br>Procesos industriales<br>Incineración de residuos<br>Calefacciones domésticas<br>Quema de la biomasa | Vehículos diesel<br>Vehículos gasolina<br>Sin plomo |

Tabla 4. Porcentaje de emisiones naturales y antropogénicas.

| Focos de Emisión |               |                    |
|------------------|---------------|--------------------|
| Contaminante     | Naturales (%) | Antropogénicos (%) |
| Aerosol          | 88.7          | 11.3               |
| SO <sub>2</sub>  | 57.1          | 42.9               |
| CO               | 90.6          | 9.4                |
| NO               | 88.7          | 11.3               |
| Hidrocarburos    | 84.5          | 15.5               |
| NO <sub>2</sub>  | -             | 100                |

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 <sub>2</sub> | 18                          | 78                          |            |                       |                     |
| CO              |                             |                             | 75         |                       | 9                   |
| Hidrocarburos   | 16                          |                             | 56         | 9                     |                     |
| NO <sub>2</sub> |                             | 44                          | 52         |                       |                     |

### 2.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

#### 2.3.3.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FUENTE

- **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.

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

| Tipo      | Primario                           | Secundario   | Fuentes Mayoritarias Artificiales             |
|-----------|------------------------------------|--|---|
| Azufre    | SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S | SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MeSO <sub>4</sub> | Carburantes con S                             |
| Nitrógeno | NO, NH <sub>3</sub>                | NO <sub>2</sub> , MeNO <sub>3</sub>                                  | Combustión a altas temperaturas               |
| Orgánicos | C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>     | Aldehídos, cetonas, ácidos...  | Combustión, refinado de petróleo, disolventes |
| Carbono   | CO, CO <sub>2</sub>                | Ninguno  | Combustión                                    |
| Halógenos | HF, HCl                            | Ninguno  | Industrias metalúrgicas                       |

#### 2.3.3.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA COMPOSICIÓN

- Compuesto de C: CO y CO<sub>2</sub>
- Compuestos de S: SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SH<sub>2</sub>
- Compuestos de N: N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>
- Partículas y aerosoles
- Metales pesados: Me<sup>n+</sup>
- Hidrocarburos: CH<sub>4</sub>
- Oxidantes fotoquímicos: O<sub>3</sub> troposférico y estratosférico
- Sustancias radiactivas: Rn<sup>222</sup>, I<sup>131</sup>, Cs<sup>137</sup>...

## COMPUESTOS DE CARBONO

Primarios: CO<sub>2</sub> y el CO

Secundarios: no hay

### MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

- PROPIEDADES

- Más abundante en la troposfera.
- Gas incoloro, inodoro e insípido.
- $t_{1/2} = 2 - 4$  meses.
- Insoluble en agua.
- Reductor.
- Concentración background =  $60 - 140 \mu\text{g m}^{-3}$  (4.8 - 11.2 ppb).

- FUENTES

- Oxidación de CH<sub>4</sub>.
- 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 O<sub>2</sub>.
- Reacción a elevada temperatura entre el CO<sub>2</sub> y C, típica de procesos industriales como por ejemplo en los altos hornos.
- Disociación del CO<sub>2</sub> 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.

- EFECTOS

- Es tóxico para los animales porque en concentraciones superiores a  $0.86 \text{ g m}^{-3}$  se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre para formar la carboxihemoglobina, y reduce su capacidad de transportar O<sub>2</sub>.



- Afecta a las plantas si su concentración supera las  $0.11 \text{ g m}^{-3}$ .
- FORMAS DE ELIMINACIÓN
  - El CO se elimina por su oxidación a  $\text{CO}_2$  por los radicales OH o por el  $\text{O}_2$  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 ( $\text{CO}_2$ )

- PROPIEDADES
  - Gas incoloro e inodoro.
  - Muy soluble en agua.
  - Solo es considerado contaminante cuando se encuentra en concentraciones elevadas.
  - $t_{1/2} = 50 - 200$  años.
  - Concentración background =  $0.648 \mu\text{g m}^{-3}$  (330 ppm).
- FUENTES
  - Erupciones volcánicas.
  - Incendios forestales.
  - Respiración de los seres vivos.
  - Quema de la biomasa.
  - Oxidación de CO.
  - Combustión completa de compuestos con carbono.
- EFECTOS
  - 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  $\text{CO}_2$  hay concentraciones bajas de  $\text{O}_2$ .
    - Congelación: El contacto con  $\text{CO}_2$  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 CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera.
    - La fotosíntesis de las grandes masas boscosas.
    - Deposición húmeda
    - Deposición seca

## COMPUESTOS DE AZUFRE

Primarios: SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.

Secundarios: SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y sulfatos metálicos como secundarios.

### DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

- PROPIEDADES

- Gas incoloro, no inflamable.
- Muy soluble en agua
- Importante poder reductor.
- $t_{1/2} = 2 - 4$  días.
- Concentración background =  $5 - 25 \mu\text{g m}^{-3}$  (1.8 - 8.8 ppb).

- FUENTES

- Combustión de combustibles fósiles
- Erupciones volcánicas
- Incendios forestales
- Reducción de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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<sub>2</sub>S por parte del O atómico, O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>
- Oxidación del dimetilsulfuro (DMS), H<sub>2</sub>S y CS<sub>2</sub> por el radical OH, en la troposfera.
- Procesos de elaboración industrial: operaciones de fundición por el uso de muchos sulfuros

- EFECTOS

- Se oxida e hidrata hasta formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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  $\text{SO}_4^{2-}$

- **TRIÓXIDO DE AZUFRE ( $\text{SO}_3$ )**

- **PROPIEDADES**

- Gas muy reactivo.
- Condensa fácilmente para dar  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , (en condiciones normales no se encuentra presente en la atmósfera).
- Muy oxidante

- **FUENTES**

- Combustión de combustibles fósiles
- Algunos procesos industriales
- Oxidación de  $\text{SO}_2$
- Reacción fotoquímica de  $\text{SO}_2$

- **EFFECTOS**

- Reacciona con el agua atmosférica para formar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida.

- **FORMAS DE ELIMINACIÓN**

- Deposición húmeda (rainout o washout)

- **SULFURO DE HIDRÓGENO ( $\text{SH}_2$ )**

- **PROPIEDADES**

- $t_{1/2} = 4.4$  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  $O_3$

## COMPUESTOS DE NITRÓGENO

Primarios:  $N_2O$ ,  $NO$  y  $NH_3$ .

Secundarios:  $NO_2$ ,  $NH_4^+$  y los nitratos metálicos.

El  $N_2O$  atmosférico procede de fuentes naturales, el  $NO$  procede tanto de fuentes naturales como antropogénicas y el  $NO_2$  es fundamentalmente antropogénico.

### ÓXIDO NITROSO ( $N_2O$ )

- PROPIEDADES

- No es contaminante porque en la troposfera es inerte.
- $t_{1/2} = 170$  años

- FUENTES

- Degradación del N proteico en el suelo debido a microorganismos.
- Reacción del  $N_2$  con el  $O_2$  y el  $O_3$  en la alta atmósfera.
- Procesos industriales

- EFECTOS

- Las reacciones fotoquímicas que sufre influyen en la destrucción de la capa de  $O_3$
- Efecto invernadero

- FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Reacciones fotoquímicas en la estratosfera
- Reacción con el O atómico para dar  $NO$  y  $NO_2$ , aunque es una reacción muy lenta (meses).

### $NO_x$ (CONJUNTO DE $NO$ y $NO_2$ )

El  $NO$  sufre una rápida oxidación a  $NO_2$ , siendo éste el que predomina en la atmósfera  $\Rightarrow$

$NO_x = NO + NO_2$

- PROPIEDADES

- $NO$

- Gas incoloro, inodoro y no inflamable
  - Tóxico
  - Insoluble en agua
  - NO<sub>2</sub>
    - Gas de olor axfisiante y no inflamable.
    - Tóxico
    - Muy soluble en agua.
    - $t_{1/2} < 2$  días.
    - Concentración background = 0.4 - 9.4  $\mu\text{g m}^{-3}$  (0.2 - 4.6 ppb)
- FUENTES
  - El NO se produce en procesos biológicos y por fijación del N<sub>2</sub> al O<sub>2</sub> atmosférico
  - El NO<sub>2</sub> 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 O<sub>3</sub>, ciertos hidrocarburos y O<sub>2</sub>
- EFECTOS
  - Se oxida e hidrata hasta formar HNO<sub>3</sub> → lluvia ácida
  - Formación del smog fotoquímico
  - Influye en las reacciones de formación y destrucción del O<sub>3</sub>, 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<sub>3</sub>)

- PROPIEDADES

- Gas muy irritante, incoloro
- Muy soluble
- Bajos niveles de emisión

- FUENTES

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

- EFECTOS

- Es tóxico para los animales

- FORMAS DE ELIMINACIÓN

- Absorción en superficies húmedas para formar NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Reacción con ácidos tanto en fase gaseosa como acuosa
- Oxidación a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



## PARTÍCULAS Y AEROSOLES

- Definición: Aerosol atmosférico: suspensión de partículas sólidas o líquidas en el aire.
- Tamaño: diámetros comprendidos entre 0.002  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ .
- Clasificación según tamaño (figura 7)
  - Partículas finas  $\Rightarrow D > 2 \mu\text{m}$ 
    - modo de los núcleos Aitken  $\Rightarrow D = 0.002 - 0.8 \mu\text{m}$
    - modo de acumulación  $\Rightarrow D = 0.8 - 2 \mu\text{m}$
  - Partículas gruesas (modo de sedimentación)  $\Rightarrow D > 2 \mu\text{m}$ .
  
- 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  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NH}_4^+$ . 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  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  como especies características) o el aerosol terrígeno (con los iones  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Si}^{+4}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  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.

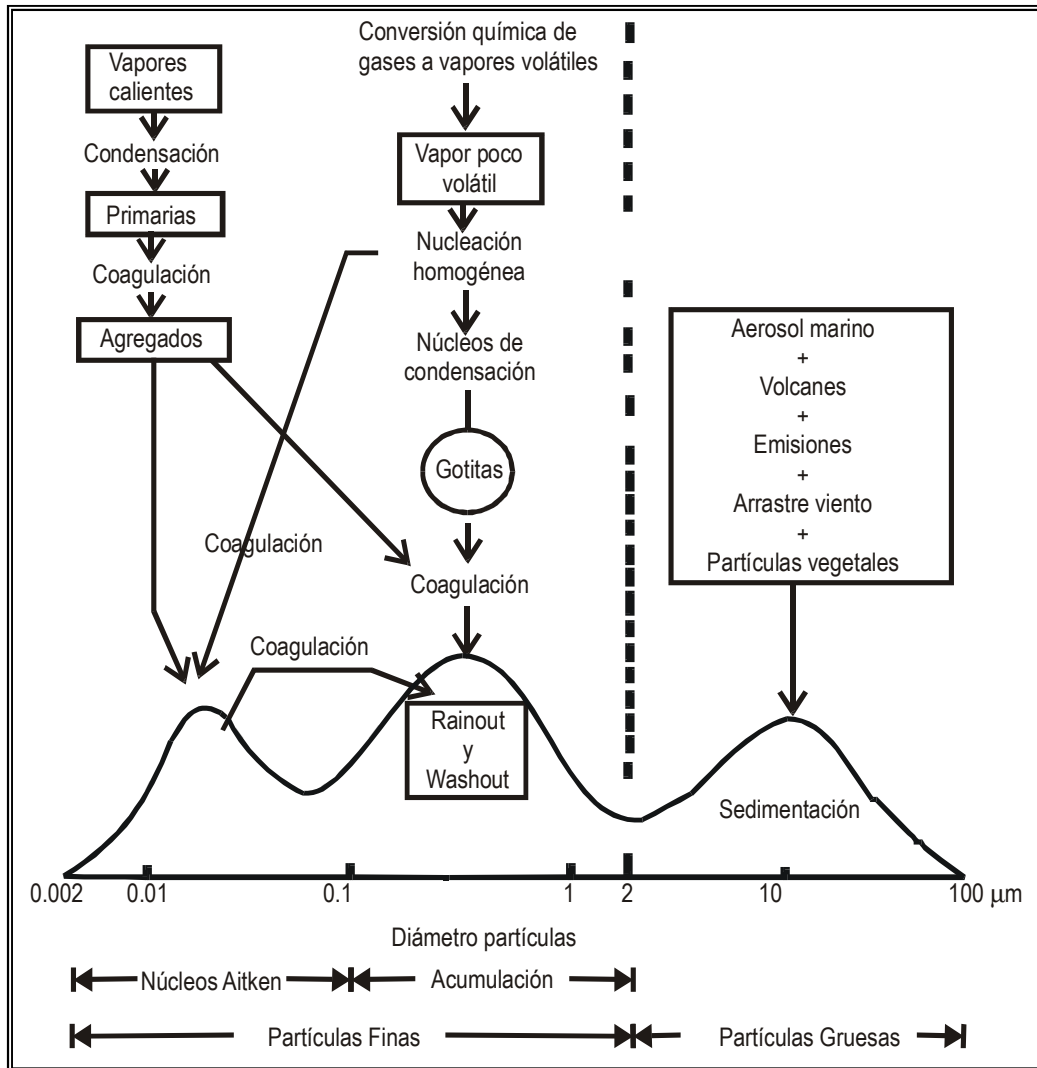


Figura 7. Distribución de tamaños del aerosol atmosférico

## METALES PESADOS

- PROPIEDADES

- Micronutrientes.
- Bajas concentraciones (por ejemplo el plomo tiene una concentración background inferior a  $0.15 \mu\text{g m}^{-3}$ ).
- $t_{1/2} = 7 - 30$  días en el aire, pero en el suelo, agua o en los seres vivos son muy persistente y se acumulan convirtiéndose en 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: gasolineras con Pb
- Procesos industriales

- EFECTOS

- Algunos 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 a través del sistema respiratorio, afectando a los huesos, a la inteligencia, 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

## HIDROCARBUROS

- Contaminantes primarios
- Se clasifican en CH<sub>4</sub> e HCNM (hidrocarburos no metano).
- Concentración background (como CH<sub>4</sub>) = 3.2 mg m<sup>-3</sup> (0.9 ppm).

### METANO (CH<sub>4</sub>)

- **PROPIEDADES**
  - Más abundante e importante de los hidrocarburos atmosféricos
  - Gas incoloro
  - Insoluble en agua.
  - $t_{1/2} = 5 - 10$  años.
- **FUENTES**
  - Descomposición anaerobia de materia orgánica: El metano es producido por microbios que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica.
  - 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
- **FORMAS DE ELIMINACIÓN**
  - Reacción con los radicales OH y con el O atmosférico, formando radicales metilo.
  - Deposición seca

## OXIDANTES FOTOQUÍMICOS

El O<sub>3</sub> es el principal oxidante atmosférico. Cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera. El O<sub>3</sub> estratosférico absorbe las letales radiaciones UV que nos llegan del sol, mientras que el O<sub>3</sub> troposférico es un importante contaminante secundario.

### O<sub>3</sub> TROPOSFÉRICO

- PROPIEDADES

- Gas azulado, corrosivo e irritante.
- Oxidante fuerte
- Inestable (solo es estable a altas temperaturas).
- Concentración background = 20 - 50 µg m<sup>-3</sup> (10 - 50 ppb).

- FUENTES

- Reacción de los NO<sub>x</sub> naturales con los COV biogénicos en presencia de radiación solar (fotoquímicas)
- Incursiones del O<sub>3</sub> estratosférico
- Descargas eléctricas en las tormentas
- La fotooxidación de CH<sub>4</sub> y CO en presencia de NO<sub>x</sub>

- EFECTOS

- 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 NO<sub>2</sub>, HO<sub>2</sub> e hidrocarburos insaturados

## SUBSTANCIAS RADIATIVAS

Los isótopos radiactivos como el Rn<sup>222</sup>, I<sup>131</sup>, Cs<sup>137</sup> y Cs<sup>134</sup>, Sr<sup>90</sup>... 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.

### RADON<sup>222</sup>

- **PROPIEDADES**

- Gas, cuyos descendientes son isótopos de metales pesados que generan aerosoles radiactivos.
- $t_{1/2} = 3,8$  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<sup>222</sup> 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

## RUIDO

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.

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 |

## CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

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

## 2.4. CALIDAD DEL AIRE

### REDES DE VIGILANCIA INTERNACIONALES

*“El Programa EMEP”* (European Monitoring Evaluation Programme)

*“La Red BAPMoN”* (Background Air Pollution Monitoring Network).

### RED DE VIGILANCIA NACIONAL

*“La Red Española de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica”*

### RED DE VIGILANCIA AUTONOMICA

*“La Red automática de vigilancia y control de la contaminación atmosférica de la CAV”.*

### RED DE VIGILANCIA MUNICIPAL

*“La Red manual de vigilancia y control de la contaminación atmosférica”*



**ÍNDICES DE CALIDAD:** expresiones sencillas de la calidad del aire.

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

Es un valor adimensional, que se calcula según la siguiente fórmula:

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

K es una constante (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).  $P_i$  y  $C_i$  son el peso y la carga del contaminante y varían en función de su concentración (tabla 8):

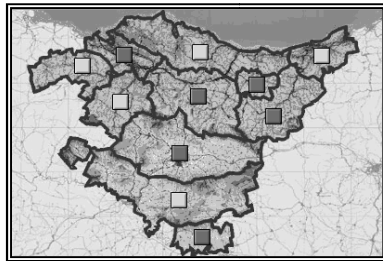
Tabla 8. Carga de los contaminantes en función de su concentración.

|                                 |                    |                    |                    |                               |                    |                    |                    |                    |                    |                |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
|                                 | SO <sub>2</sub>    | Psus               | NO <sub>2</sub>    | C <sub>n</sub> H <sub>n</sub> | CO                 | Psed               | Pb                 | Cl <sub>2</sub>    | RF                 | C <sub>i</sub> |
| V<br>A<br>L<br>O<br>R<br>E<br>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                 | 100                |                |
|                                 | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup>            | mg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | µg m <sup>-3</sup> | %              |
| P <sub>i</sub>                  | 2                  | 2                  | 2                  | 1.5                           | 1.5                | 1.5                | 1.5                | 1                  | 1                  | --             |

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:



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

El índice está referido a 5 contaminantes:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_3$ .

En cada estación de la red se calcula un **ÍNDICE PARCIAL** para cada contaminante:

Índice parcial = 0 si [contaminante] = 0

Índice parcial = 100 si [contaminante] = valor límite fijado legalmente.

EL **ÍNDICE GLOBAL DE UNA ESTACIÓN** será el mayor de los índices parciales de esa estación.

EL **ÍNDICE GLOBAL DE UNA ZONA** será el mayor de los índices globales de sus estaciones.

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

| Indices       |                  |               |             |              | Calidad del aire | Color     |
|---------------|------------------|---------------|-------------|--------------|------------------|-----------|
| $\text{NO}_2$ | $\text{PM}_{10}$ | $\text{SO}_2$ | $\text{CO}$ | $\text{O}_3$ |                  |           |
| 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

- Deposición húmeda: Rainout y/o washout
- Deposición seca
- Deposición oculta

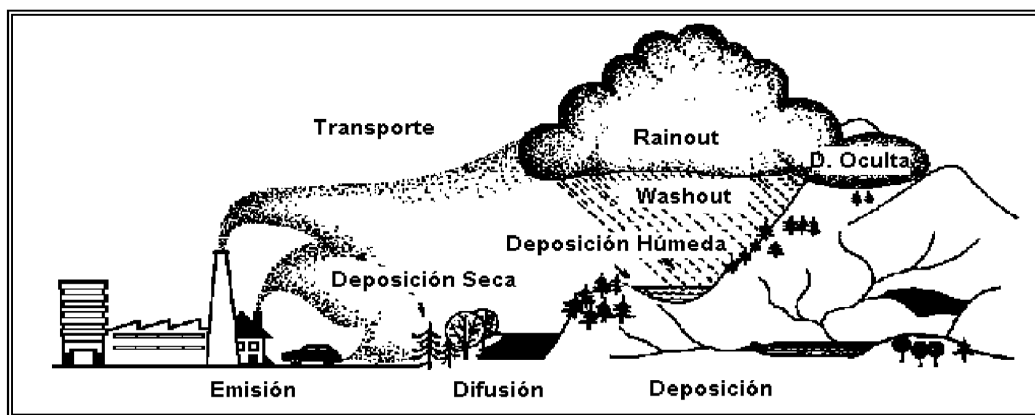


Figura 9. Esquema de los diferentes tipos de deposición (seca, húmeda (rainout/washout) y oculta).

### DEPOSICIÓN ACIDA

- FORMACIÓN
  - Sustancias acidificantes: NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>
  - Sustancias neutralizantes: Gas amoníaco y carbonatos metálicos.
- LLUVIA ÁCIDA
  - Si el proceso de deposición ácida tiene lugar por vía húmeda.
  - pH natural del agua de lluvia = 5.6 (agua en equilibrio con 330 ppm de CO<sub>2</sub>, en condiciones normales de presión y temperatura).
- DAÑOS
  - Ecosistemas acuáticos.
  - Ecosistemas terrestres.
  - Edificios y construcciones.

## 2.5.2. EFECTO INVERNADERO Y CAMBIO CLIMÁTICO

### EFECTO INVERNADERO (greenhouse)

Fenómeno natural por el cual determinados gases (gases invernadero o greenhouse, como el  $\text{CO}_2$ ) 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.

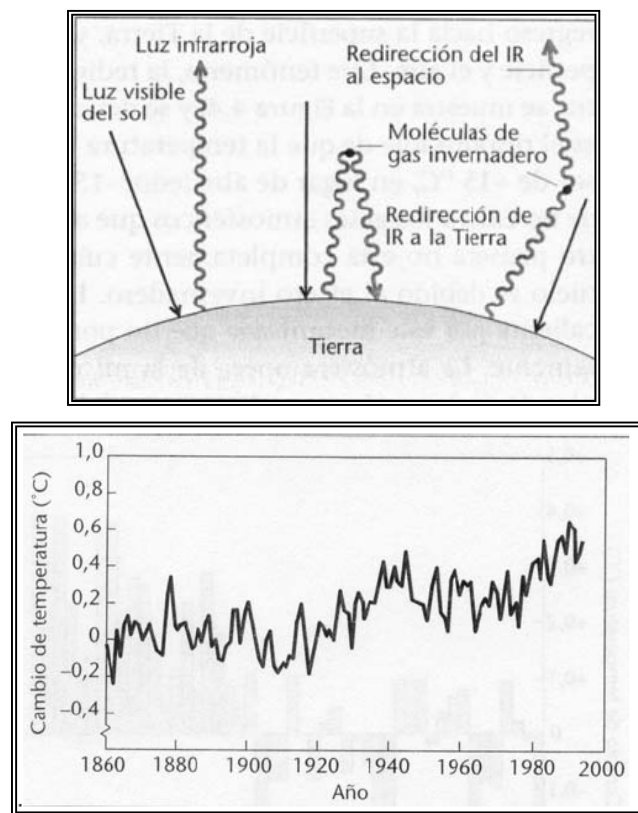


Figura 10. Efecto invernadero y evolución de la temperatura media del planeta en el último siglo y medio.

Si la cantidad de energía que llega a la tierra y la que se refleja están en perfecto equilibrio → temperatura terrestre media anual  $\approx +15^\circ\text{C}$

Si aumenta la concentración de gases invernadero → calentamiento

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

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

**CAMBIO CLIMÁTICO:** efecto directo provocado por el calentamiento del planeta como consecuencia del aumento en la concentración de los gases invernadero.

Consecuencias del cambio climático:

- radicalización del clima (intensas tormentas y períodos de sequía más largos).
- desertificación
- desaparición de los glaciares y de los cascos polares.
- aumento del nivel del mar y desaparición de muchas superficies costeras.

### 2.5.3. SMOG

SMOG = SMOke (humo) y fOG (niebla)

**DEFINICIÓN:** fenómeno (situación) que se produce cuando se combinan una climatología determinada (inversión térmica) y concentraciones altas de ciertos contaminantes.

Tabla 12. Principales características del smog reductor y fotoquímico.

| Característica            | Smog Reductor<br>(industrial, gris, sulfuroso)        | Smog Fotoquímico  |
|---------------------------|---|---|
| Componentes primarios     | SO <sub>2</sub> y partículas                          | O <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, materia orgánica   |
| Contaminantes secundarios | SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> , aerosoles de sulfato | O <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> 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<br>Reducción visibilidad | Irritación de los ojos y<br>de las vías respiratorias |
| Episodio más importante  | Londres 1952. 4000 muertes                           | Los Ángeles, 1943                                     |

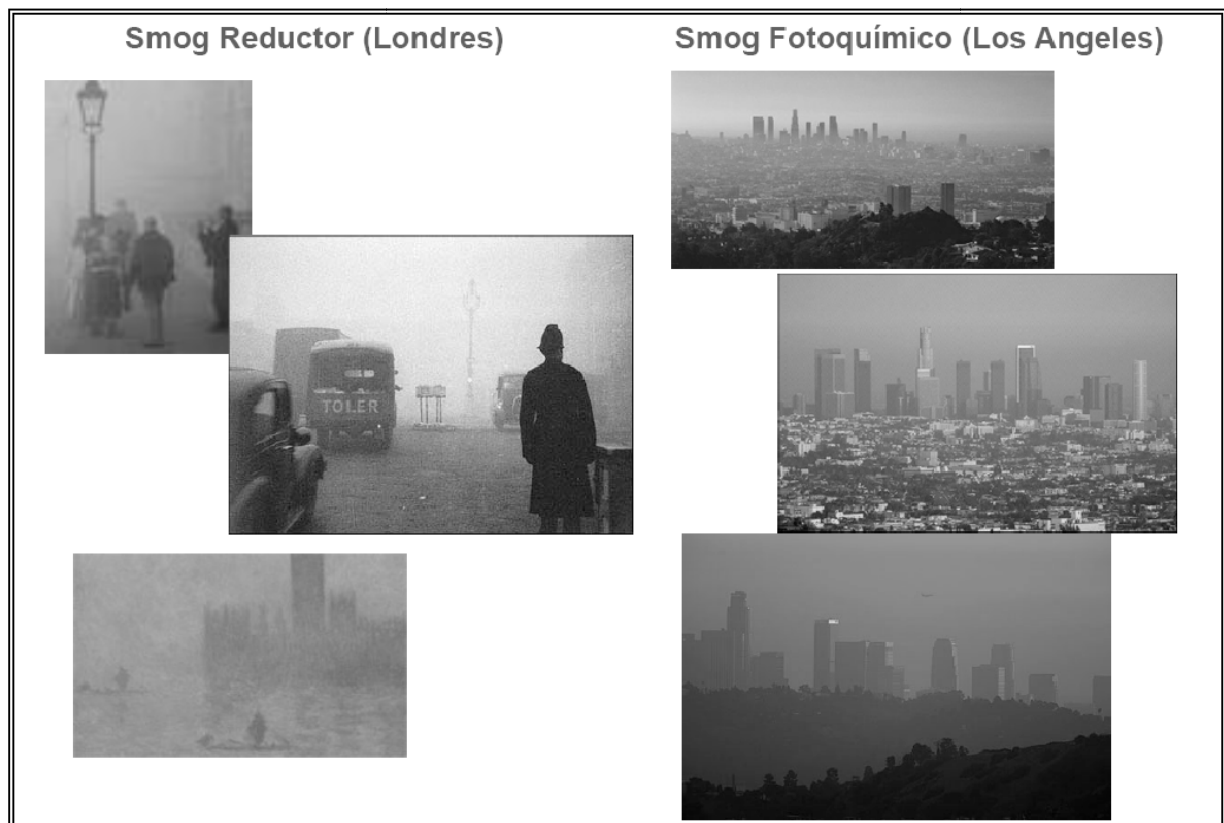


Figura 11. Fotos tomadas durante episodios el smog industrial en Londres y del fotoquímico en Los Ángeles.







## TEMA 3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

#### 3.1.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA

##### LOCALIZACIÓN:

- superficial
- subterránea o profunda
- freática acuífero
- de fuente o pozos
- lacustre
- de infiltración
- de lixiviado
- marina
- pluvial

##### UTILIZACIÓN:

- potable
- industrial
- residual
- tratada
- cruda

##### COMPOSICIÓN:

- pura
- dulce
- salobre
- salada
- natural
- destilada
- mineral
- dura
- blanda
- pútrida

### 3.1.2. COMPOSICIÓN DEL AGUA NATURAL

Disolvente universal  $\Rightarrow$  nunca va a estar en la naturaleza en estado puro.

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

- Especies mayoritarias (de 1 a 10000 mg l<sup>-1</sup>): Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- Especies secundarias (de 0.1 a 10 mg l<sup>-1</sup>): Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>
- Especies traza (< 10<sup>-3</sup> mg l<sup>-1</sup>): Be, Bi, Cs, Au, Pt, Ra, Ag, Sn, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- Especies en suspensión
  - compuestos de Si (> 1 mg l<sup>-1</sup>), 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

AGUA CONTAMINADA → contiene compuestos que impiden su uso

#### FUENTES DE CONTAMINACIÓN

- naturales o geoquímicas
- artificiales o antropogénicas
  - industria
  - vertidos urbanos
  - navegación
  - agricultura y ganadería

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

| Físicas:  | Químicas  | Biológicas  |
|---|---|---|
| Color<br>Olor y sabor<br>Conductividad<br>Temperatura<br>Materiales en suspensión<br>Radiactividad<br>Espumas | pH<br>O <sub>2</sub> disuelto (OD)<br>DBO <sub>5</sub> , DQO, COT<br>Nitrógeno total<br>Fósforo total<br>Aniones: Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , S <sup>2-</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup><br>Cationes: Na <sup>+</sup> , Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> , Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>Metales pesados<br>Compuestos orgánicos | Bacterias coliformes<br>Virus<br>Microorganismos<br>Animales<br>Plantas |

### **3.3. SUBSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA**

#### **3.3.1. RESIDUOS CON REQUERIMIENTO DE O<sub>2</sub>**

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: DBO<sub>5</sub>, DQIO Y COT**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>): 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.

Tabla 14. Calidad del agua para distintos valores de  $DBO_5$ .

| $DBO_5$                  | Calidad del Agua |
|--------------------------|------------------|
| 1 - 2 mg l <sup>-1</sup> | Muy Buena        |
| 3 - 5 mg l <sup>-1</sup> | Aceptable        |
| 6 - 9 mg l <sup>-1</sup> | Mala             |
| > 100 mg l <sup>-1</sup> | Muy Mala         |

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Cantidad de oxígeno disuelto necesaria para oxidar químicamente toda la materia orgánica. Se mide valorando el exceso de oxidante añadido a la muestra.

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

| DQO         | Calidad del Agua   |
|-------------|--------------------|
| 1-5 ppm     | no contaminada     |
| < 50 ppm    | poco contaminada   |
| 250-600 ppm | 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  $CO_2$  desprendida en una combustión catalítica a 900-1000°C.

### 3.3.2. AGENTES PATÓGENOS

Bacterias, virus, protozoos...

#### FUENTES

- Heces y restos orgánicos de personas infectadas.

#### MEDIDA

- Número de bacterias coliformes y gérmenes anaerobios. Cultivo con lactosa a 35°C. Presencia de gas.
  - Contaminación fecal reciente: presencia bacterias coliformes y gérmenes anaerobios.
  - Contaminación fecal no reciente: Presencia de gérmenes anaerobios y ausencia de bacterias coliformes.

### 3.3.3. NUTRIENTES VEGETALES INORGÁNICOS

Son compuestos químicos de C, N, P, K, S y varios metales traza que las plantas necesitan para crecer.

#### FUENTES

- Naturales: Aporte de nutrientes por parte del suelo y del aire.

Antropogénicas (de origen humano). Vertidos:

- urbanos
- ganaderos y agrícolas
- atmosféricos

#### EFFECTOS

- Si están en cantidades excesivas se produce la EUTROFIZACIÓN del agua, es decir, el crecimiento excesivo de organismos por un excesivo aporte de nutrientes ( $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{NO}_3^-$ ).

### 3.3.4. COMPUESTOS ORGÁNICOS SINTÉTICOS

Petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, compuestos farmacéuticos.....

#### FUENTES

- Aguas industriales y municipales:
- Aguas de escorrentía
- Agua de precipitación

### 3.3.5. SUSTANCIAS QUÍMICAS INORGÁNICAS

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

Partículas arrancadas del suelo y arrastradas al agua y vertidos de materia particulada.

#### FUENTES

- Natural: erosión

**EFFECTOS**

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

**3.3.7. SUSTANCIAS RADIATIVAS**

Isótopos radiactivos solubles presentes en el agua.

**FUENTES**

- Natural: granito y rocas magmáticas
- Artificiales:
  - Minería y elaboración de las menas de 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. 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**

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 los peces.



### **3.4. CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**

CALIDAD DEL AGUA: 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.

Tabla 16. Calendario de aplicación de la DMA

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

### 3.4.2. LA CALIDAD DEL AGUA

#### 3.4.2.1. CALIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU USO

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

a) **CONSUMO HUMANO:**

Hay que medir la DQO, DBO,  $\text{NH}_4^+$ , NTK, conductividad,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CN}^-$ , 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**

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**

Es crítica la concentración de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_3$  no ionizado. También se mide la  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NH}_4^+$ , hidrocarburos disueltos y metales pesados (Pb, Cu, Zn).

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

Índices de calidad: valores numéricos de la calidad del agua (independiente del uso). Pueden ser químicos o biológicos.

#### ÍNDICES QUÍMICOS

Valores numéricos resultantes de introducir los parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos del agua en una función matemática.

Ejemplos:

- Índice de calidad general (ICG)
- Índice de Prati
- Toxicidad Peces
- Análisis de la sensibilidad química
- ....

**Índice de calidad general (ICG):**

$$ICG = \frac{\sum Q_i \times P_i}{\sum P_i}$$

$Q_i$  es la calidad o carga química de la variable y  $P_i$  es un coeficiente de ponderación.

$Q_i$ : valor adimensional que se obtiene a partir de su curva de calidad estandarizada. Una curva de calidad (figura 12) es una representación gráfica 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.

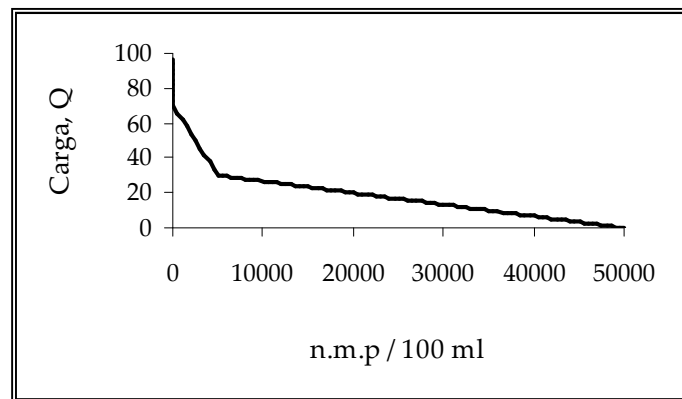


Figura 12. Curva de calidad estandarizada para la variable conformes totales.

$P_i$ : Coeficiente de ponderación. Toman los valores de la tabla 18.

Tabla 18. Variables y coeficientes de valoración del ICG.

| Variable, l  | PI |
|--|----|
| Oxígeno disuelto, materia en suspensión, pH, conductividad, DBO5, coliformes totales | 1  |
| DQO, ortofosfatos, $\text{NO}_3^-$   | 3  |
| Detergentes, $\text{CN}^-$ , Fenoles, Cd, Cr hexavalente, Hg                         | 1  |
| $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , Cu, Pb, Zn                                      | 2  |
| $\text{Ca}^{2+}$   | 3  |
| $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$   | 4  |

El ICG varía entre 0 y 100. Tiene 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             |

## ÍNDICES BIOLÓGICOS

Valores numéricos: que se obtienen en base a la respuesta que tienen las comunidades biológicas (macroinvertebrados acuáticos) a la contaminación antropogénica.

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.

**Índice biótico BMWP'**: Cada familia de macroinvertebrados 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 6 clases de calidad según el valor de sensibilidad (tabla 20).

*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

#### 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

#### 3.5.1. ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (ETAP)

**Función:** Planta que convierte el agua natural o bruta en agua potable o doméstica.

**Localización:** entre los embalses de agua y las canalizaciones.

**Misión:** potabilizar el agua, es decir, eliminar parte de la materia mineral, materiales orgánicos (fenoles, HC, detergentes, residuos de pesticidas...) y microorganismos (bacterias, protozoos, virus...)

**Tratamientos y procesos:** dependen de las características del agua a potabilizar. Cada depuradora tendrá que diseñar la cadena de procesos adecuada para conseguir el objetivo. En general, la secuencia de procesos más comunes es la siguiente (figura 13):

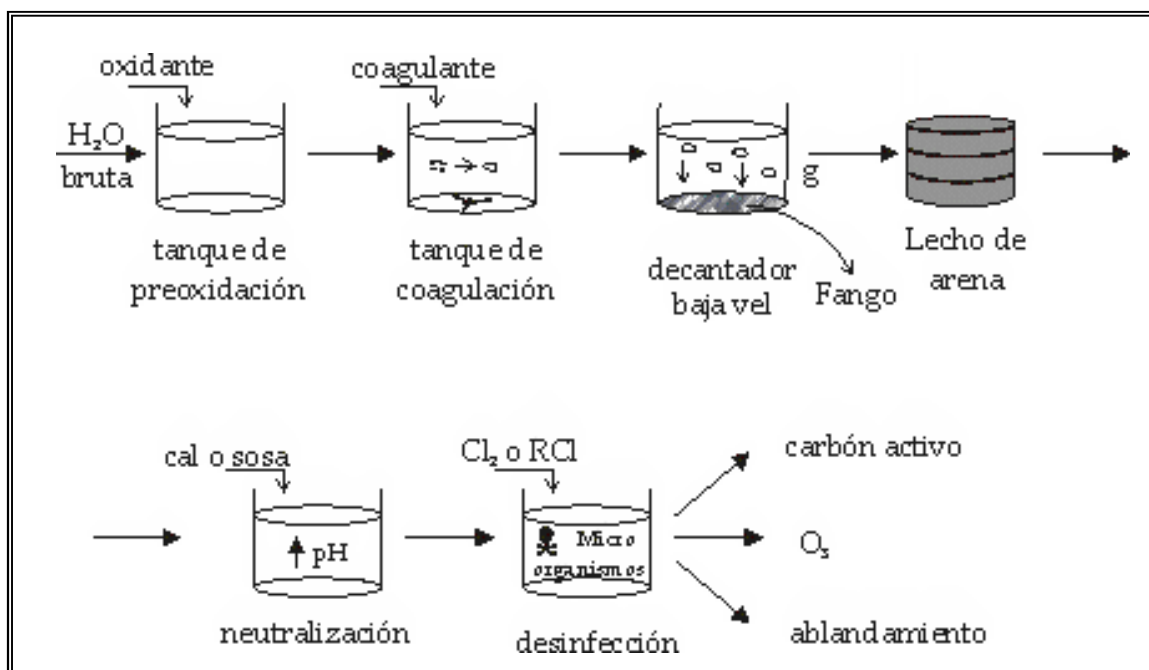


Figura 13. Secuencia de procesos más comunes en una ETAP.



**1. PREOXIDACIÓN**

Se añade un oxidante (aire atmosférico,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ...) para que oxide la materia orgánica e inorgánica.

**2. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN**

Se añade un coagulante (normalmente  $\text{FeCl}_3$ ) para que los coloides coagulen entre sí y se transformen en partículas más grandes que puedan sedimentar.

**3. DECANTACIÓN**

Por acción de la gravedad, las partículas voluminosas son retiradas en forma de fango (también llamado lodo), que se trata en la misma ETAP o en una EDAR.

**4. FILTRADO SOBRE ARENA**

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 ( $\text{CaO}$ ) o sosa ( $\text{NaOH}$ ), para evitar la corrosión de las tuberías.

**6. DESINFECCIÓN FINAL**

Consiste en añadir  $\text{Cl}_2$  o algún compuesto de cloro para eliminar los microorganismos que pueda haber en el agua. También sirve para prevenir posibles contaminaciones accidentales posteriores.

**7. TRATAMIENTOS ESPECÍFICOS: TRATAMIENTOS DE ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA:**

- a. **FILTRACIÓN SOBRE CARBÓN ACTIVO:** retiene ciertos compuestos que pueden dar malos olores y sabores. Mejora las características organolépticas del agua.
- b. **OZONIZACIÓN:** mejora las características organolépticas del agua y desinfecta.
- c. **ABLANDAMIENTO** (en el caso de aguas duras): Se añaden reactivos químicos que transforman las sales solubles de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en sales insolubles, que se eliminan por precipitación. También evita posibles problemas de incrustaciones de cal.

**8. FLUORACIÓN**

Se añade ácido hexafluorosilícico, con el objetivo de prevenir la caries dental.

### 3.5.2. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)

**Función:** Planta que convierte las aguas residuales en aguas con propiedades adecuadas para ser vertidas a un cauce receptor (río o mar).

**Aguas residuales:** aguas que han sido usadas y no sirven para el uso directo. Pueden tener un origen doméstico, industrial o comercial.

**Localización:**

- Aguas domésticas y comerciales: entre la red de alcantarillado y el cauce receptor
- Aguas industriales: entre el foco industrial y el cauce receptor.

**Misión:** eliminar aquellos contaminantes que impiden que el agua pueda ser vertida a un cauce receptor.

**Tratamientos y procesos:** dependen de las características del agua a tratar (especialmente si es industrial) y del grado de depuración que se quiera conseguir.

En toda EDAR existen siempre **dos líneas** de tratamiento:

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

En general, la secuencia de procesos más comunes es la siguiente (figura 14):

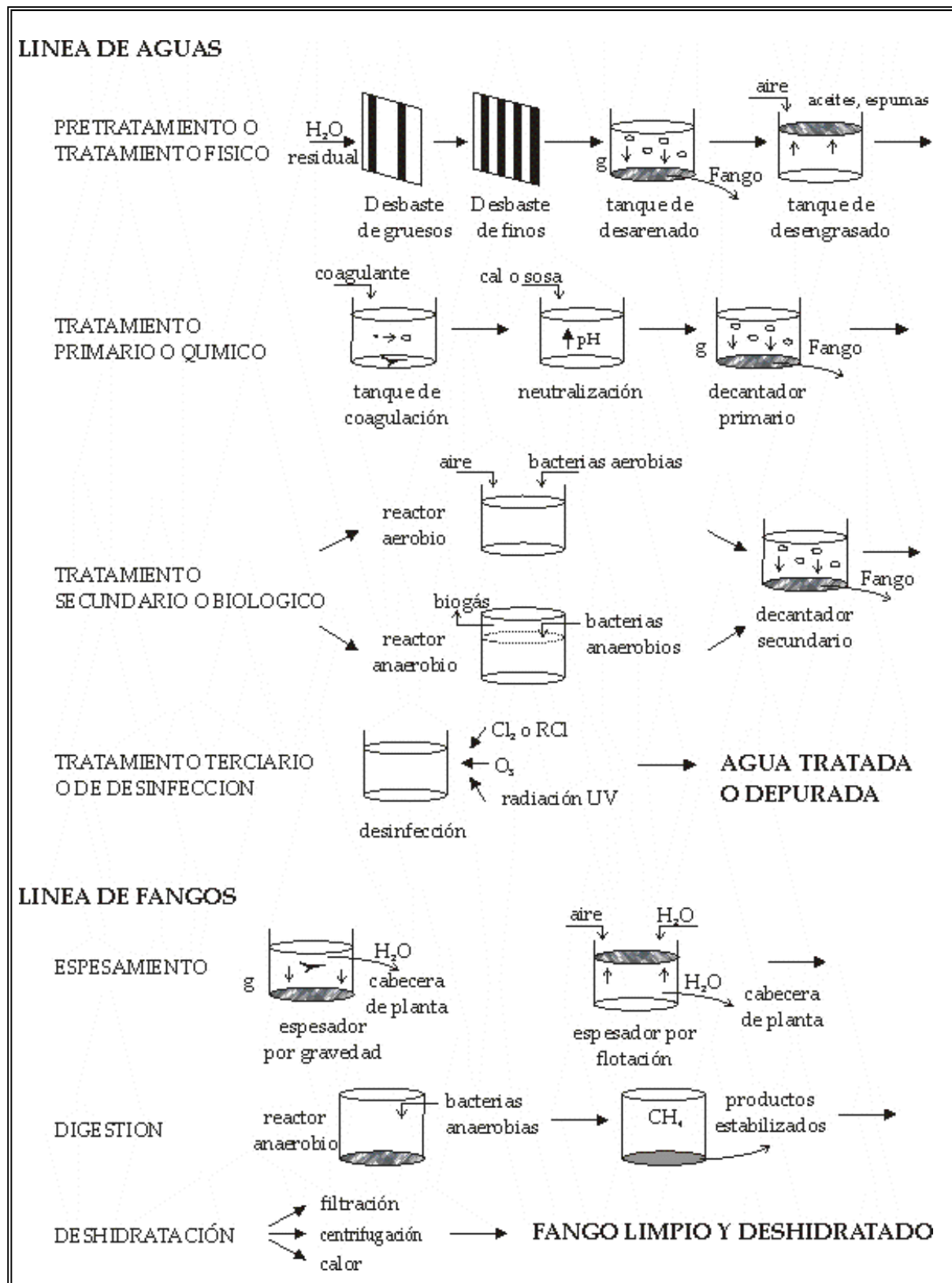


Figura 14. Secuencia de procesos más comunes en una EDAR, en la línea de aguas y en la de fangos.

**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 y de finos**

El agua 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.

**1.1.2. Desarenado**

Se deja reposar el agua durante un tiempo para que, por acción de la gravedad, se depositen en el fondo las partículas sólidas en suspensión inestable. Se forman los lodos o fangos que se lleva a la línea de fangos.

**1.1.3. Desengrasado**

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.

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

**1.2.1. Coagulación-floculación**

Se añade un coagulante (normalmente  $\text{FeCl}_3$ ) y con agitación se transforman los coloides en partículas más grandes, o sea sedimentables

**1.2.2. Neutralización**

Se neutraliza el pH también con cal o con sosa

**1.2.3. Sedimentación primaria**

El agua se deja reposar en el decantador primario durante varias horas para que por efecto de la gravedad los sólidos formados sedimenten en el fondo en forma de lodo que se lleva a la línea de fangos

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

**1.3.1. Procesos aerobios o anaerobios**

En un reactor biológico se reduce la materia orgánica mediante un proceso de oxidación

(digestión) que puede ser:

- **Aerobio:** se trata con aire y con microorganismos o bacterias aerobias que consumen la materia orgánica y el O<sub>2</sub> del aire.
- **Anaerobio:** se añaden microorganismos anaerobios que consumen la materia orgánica desprendiendo, entre otros gases, gas CH<sub>4</sub> o biogás. El biogás se aprovecha para producir energía, ya que tiene un elevado poder calorífico.

#### **1.3.2. Sedimentación secundaria**

Se deja reposar el agua en los decantadores secundarios 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.

### **1.4. Tratamiento terciario o de desinfección: para desinfectar**

#### **1.4.1. Cloración**

Añadir Cl<sub>2</sub> o con cualquier compuesto de cloro.

#### **1.4.2. Ozonización**

Tratamiento con O<sub>3</sub>.

#### **1.4.3. Radiación UV**

Se irradia el agua con radiación UV, la cual en ciertas dosis puede ser desinfectante.

**2. LÍNEA DE FANGOS:** Sirve para reducir la facultad que tienen los lodos para fermentar y también su volumen.

### **2.1. Espesamiento por gravedad o por flotación**

**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.

**POR FLOTACIÓN:** Se añade 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.

### **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  $\text{CH}_4$  y productos estabilizados, es decir, que no fermentan. El biogás o  $\text{CH}_4$  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 se vierte a ecosistemas en peligro de eutrofización) hay que eliminar el fósforo y el nitrógeno.

#### 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  $\text{FeCl}_3$ .*

#### 3.2. Eliminación de N:

*Hay que tener en cuenta que durante el tratamiento biológico, la mayor parte del nitrógeno se transforma en  $\text{NH}_4^+$ . Este  $\text{NH}_4^+$  con bacterias nitrificantes se transforma en  $\text{NO}_3^-$ . Y el  $\text{NO}_3^-$  con bacterias anaerobias desnitrificantes se transforma en  $\text{N}_2$  gas que se desprende a la atmósfera (figura 15)*

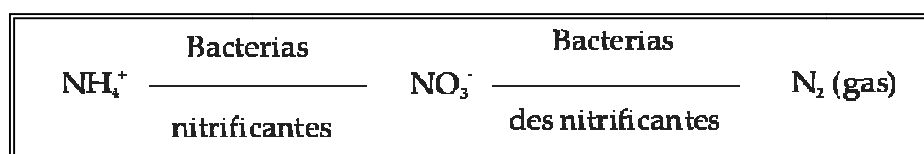


Figura 15. Procedimiento típico para eliminar el nitrógeno en una EDAR.

### 3.5.3. OTROS SISTEMAS DE DEPURACIÓN

#### 3.5.3.1. FOSA SÉPTICA

Para tratar las aguas residuales de pequeñas zonas rurales o de caseríos aislados. Es 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 fermenta de forma anaerobia (se produce  $\text{CH}_4$ ).

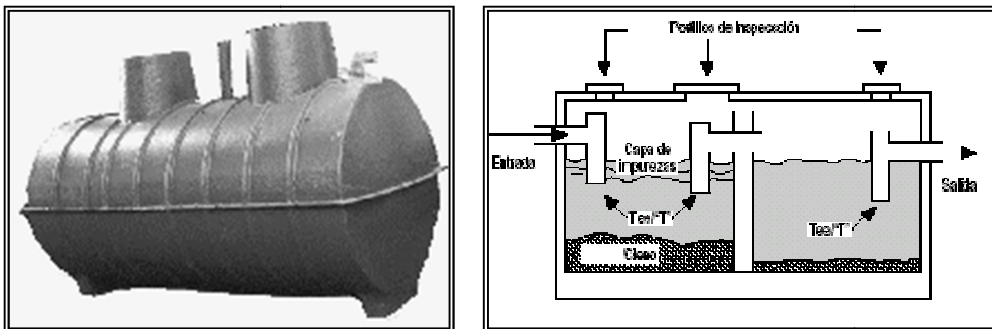


Figura 16. Esquema de una fosa séptica

#### 3.5.3.2. LECHO BACTERIANO

Elimina la materia orgánica del agua mediante una digestión aerobia. Es un depósito relleno de un material de soporte que sirve para que vayan creciendo los microorganismos que después van a degradar la materia orgánica. El brazo giratorio va rociando el agua residual 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.

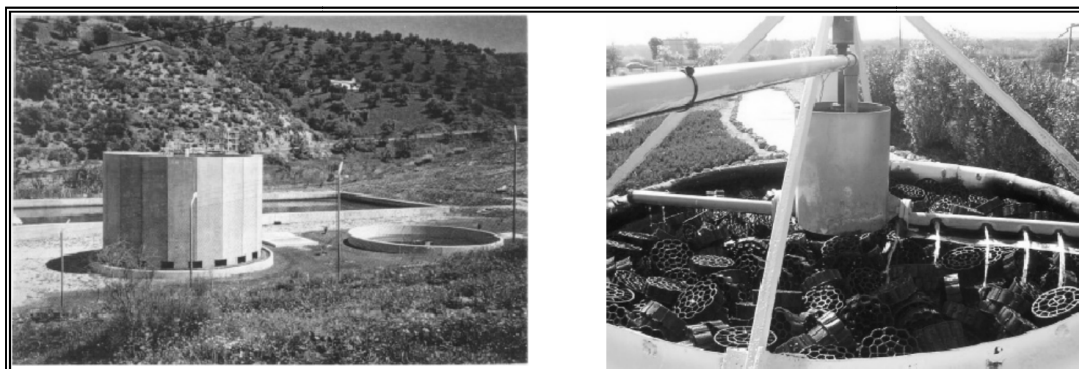


Figura 17. Lecho bacteriano

### 3.5.3.3. LAGUNAJE

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.



Figura 18. Fotografía de una laguna de depuración.

### 3.5.3.4. FILTRO VERDE

Consiste en aplicar el agua residual sobre un terreno cultivado o forestal. El suelo 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.

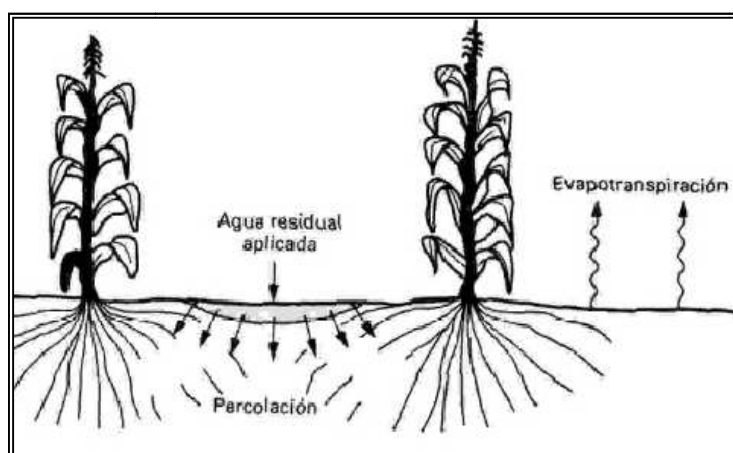
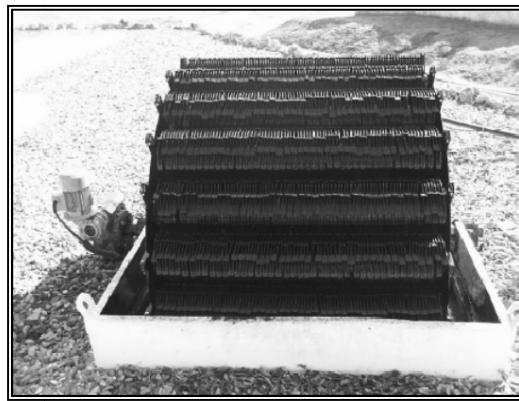


Figura 19. Esquema del funcionamiento del suelo como Filtro verde



### 3.5.3.5. CONTADORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS O BIODISCOS (RBC)

Son discos, de PVC, polietileno o polipropileno, que sirven de soporte a las bacterias. Sirven para eliminar la materia orgánica del agua. A veces se usan en las EDAR, para el tratamiento biológico. 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

Tipos de procesos contaminantes en los acuíferos (figura 21):

- Puntual: Contaminación localizada debida a actividades urbanas e industriales.
- Difuso: Contaminación no localizada debida a la actividad agropecuaria.

Principales contaminantes:  $\text{NO}_3^-$ , restos orgánicos y pesticidas.

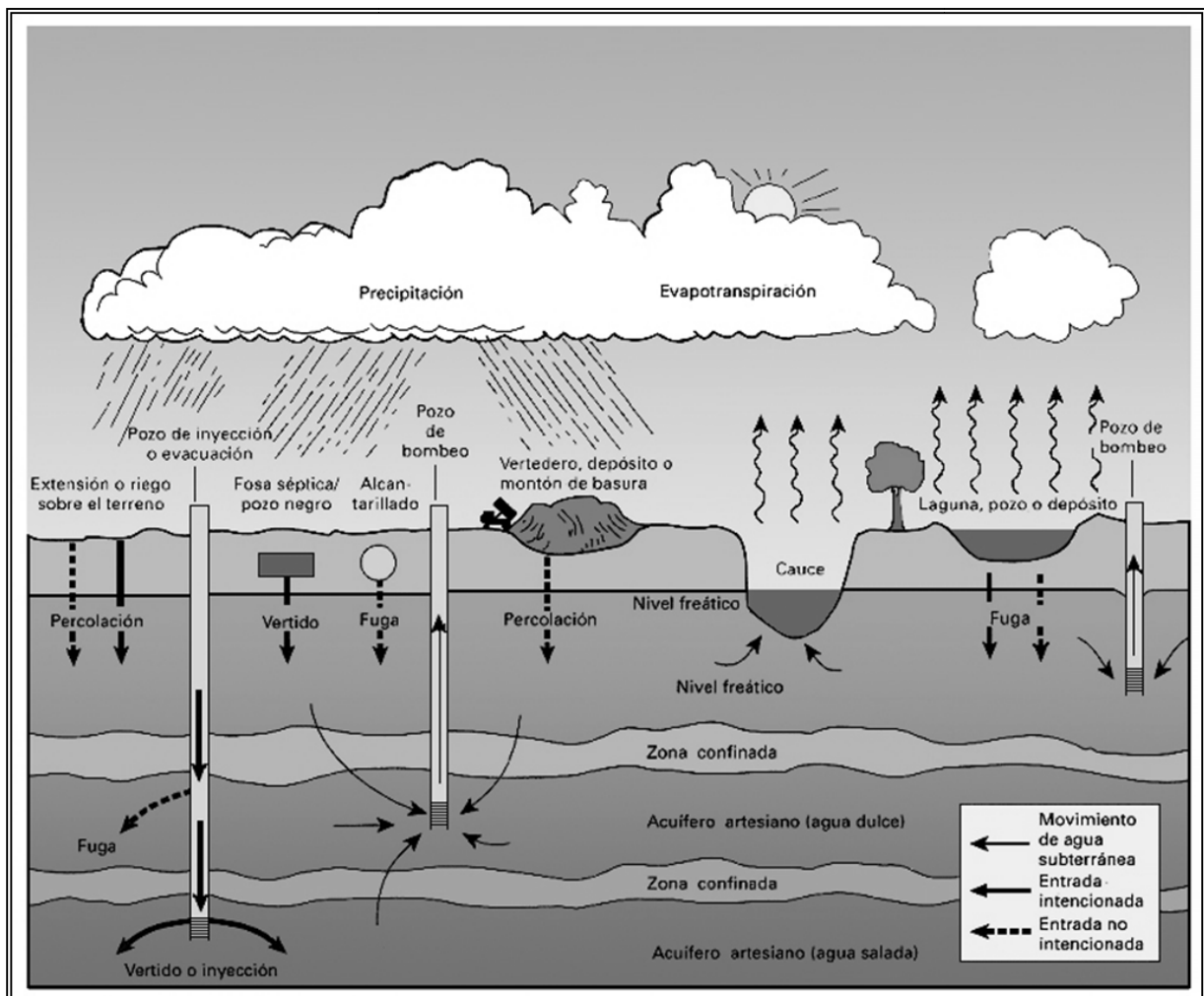


Figura 21. Esquema de las entradas y salidas del agua en un acuífero subterráneo.

Redes de vigilancia nacionales de control de las aguas subterráneas:

- “Red Piezométrica”
- “Red Hidrométrica”
- “Red de Observación de Calidad de Aguas Subterráneas” (ROCAS)
- “Red de Observación de Intrusión” (ROI)

“Red Oficial de Aguas Subterráneas” (gestionada por cada una de las Confederaciones Hidrográficas). La de la Confederación hidrográfica Norte está formada por:

- “Red Básica de Control de Aguas Subterráneas” con tres tipos de controles:
  - control de nivel (piezométrico)
  - control de caudal (foronómico)
  - control de calidad (químico)
- “Red de Control de Nitratos de Aguas Subterráneas”



## TEMA 4. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

### 4.1. PROPIEDADES DEL SUELO

**Medio dinámico:** Atmósfera interna, régimen hídrico particular, fauna y flora determinadas y elementos minerales.

**METEORIZACIÓN:** disgregación mecánica o química de la roca madre por el clima, el relieve, la actividad biológica... y el tiempo de actuación de todos ellos.

#### 4.1.1. COMPOSICIÓN MEDIA

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

- Materia sólida (50%):
  - Materia mineral o inorgánica (procede de la roca madre) (45%):
    - Arena: componente más importante. Normalmente es silícica (SiO<sub>2</sub>)
    - Arcilla: Mezcla de silicatos de aluminio hidratados Al<sub>4</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O.
    - Caliza: CO<sub>3</sub>Ca.
    - Diversos óxidos: Fe, Mn, Ti, Al, Zn....
    - Sales de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> y PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>
  - Materia orgánica (5%): mezcla de biomasa, organismos vivos, microbios ...
- Agua (20-30%): ocupa los espacios porosos
- Aire (20-30%): vapor de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y, en menor cantidad, O<sub>2</sub>. Ocupa los espacios porosos

#### 4.1.2. TEXTURA

Se refiere al tamaño de las partículas. Tipos

- fina (arcillas y limos)
- media (arena)
- gruesa (grava y piedras)

#### 4.1.3. ESTRUCTURA VERTICAL

**Horizontes:** capas o estratos del suelo, distinguibles a simple vista.

**Perfil del suelo:** conjunto de horizontes que componen un suelo.

En general, un suelo puede tener hasta tres horizontes (figura 22):

- Horizonte A (de lavado). Más superficial (donde están las raíces de las plantas). Rico en materia orgánica. Composición compleja. Subhorizontes:
  - Subhorizonte A00 (muy orgánico): restos vegetales reconocibles (hojas, ramas...). Color variable según la estación del año y la zona.
  - Subhorizonte A0 (orgánico). Humus. Tono grisáceo o negro.
  - Subhorizonte A1 (bastante inorgánico). Arcillas. Tono parduzco.
  - Subhorizonte A2 (muy inorgánico). Arcillas,  $Fe_2O_x$ ... Tono más claro.
- Horizonte B (de acumulación). Muy inorgánico. Tono rojizo-parduzco.
- Horizonte C (roca madre). Subhorizontes:
  - C1 o C: parte superior. La roca madre se está disgregando.
  - C2 o D: parte más profunda. La roca madre está fresca.

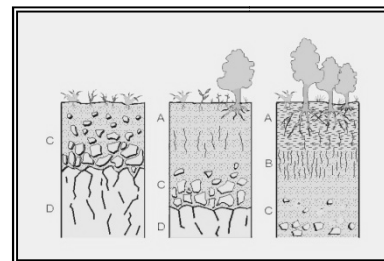
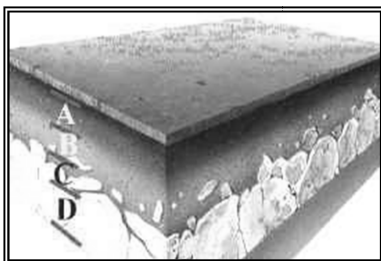


Figura 22. Estructura vertical o perfil de un suelo: horizontes.

#### 4.1.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Las partículas más finas del suelo (arcillas y humus) están cargadas negativamente (figura 23) y forman compuestos muy estables con los cationes del suelo.

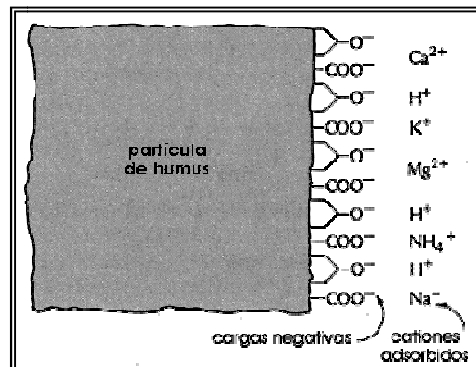


Figura 23. Principio de la Capacidad de Intercambio Iónico. Partícula de humus con cargas negativas, formando complejos estables con los cationes del suelo.

Estos cationes (cationes de cambio) son intercambiables por otros cationes de la solución del suelo (figura 24), por ejemplo, H<sup>+</sup>, según la reacción:

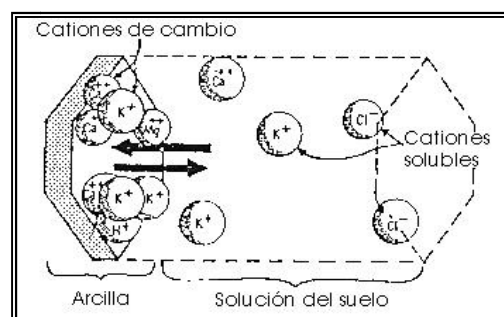
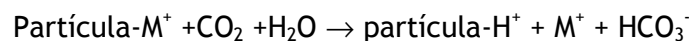


Figura 24. Intercambio de cationes entre el complejo de cambio y la solución del suelo.

**CIC:** cantidad de cationes (en meq) que 100 g de suelo es capaz de intercambiar.

**Complejo de cambio:** conjunto de constituyentes del suelo implicado en el intercambio iónico.

## **4.2. AGENTES CONTAMINANTES DEL SUELO**

**CONTAMINACIÓN:** desequilibrio físico, químico o biológico por acumulación de sustancias a niveles tóxicos para los organismos del suelo.

### **4.2.1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN**

- Natural: 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
  
- Artificial o antropogénica: debido a las actividades humanas
  - RSU y 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).

### **4.2.2. TIPOS DE 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.
  
- **EXÓGENA:** SE produce cuando los contaminantes proceden del exterior. Por ejemplo la acumulación en el suelo de iones  $H^+$  procedentes de la lluvia ácida.



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

|            | ENDÓGENA   | EXÓGENA  |
|------------|--|--|
| NATURAL    | Acumulación de una sustancia debido a una excesiva liberación en la disgregación de la <u>roca madre</u> | Acumulación de una sustancia procedente de una <u>erupción volcánica</u> |
| ARTIFICIAL | Acumulación de una sustancia liberada del complejo de cambio debido a la <u>lluvia ácida</u>             | Acumulación de una sustancia procedente de la <u>lluvia ácida</u>        |

#### 4.2.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN

Principales factores que influyen en la respuesta del suelo a los contaminantes:

- **VULNERABILIDAD DEL SUELO:** grado de sensibilidad del suelo. Está relacionado con su CIC. A mayor CIC (cuanto más complejo de cambio tenga el suelo), menor sensibilidad, de forma que:
- **BIODISPONIBILIDAD DEL CONTAMINANTE:** cantidad de contaminante que puede ser tomado por un organismo.
- **MOVILIDAD DEL CONTAMINANTE:** capacidad del contaminante para distribuirse a través de los horizontes del suelo.
- **PERSISTENCIA DEL CONTAMINANTE:** periodo de actividad del contaminante. Es una medida de su peligrosidad.
- **CARGA CRÍTICA:** cantidad máxima de contaminante que admite el suelo antes de sufrir efectos nocivos.

### 4.3. CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SUELO

**Capacidad de autodepuración** de un suelo (también poder de amortiguación): capacidad que tiene ese suelo para contrarrestar los efectos de los contaminantes que le llegan.

**Mecanismos:**

- neutralizar los ácidos y las bases
- degradar la materia orgánica de forma biótica y abiótica
- inmovilizar cationes y aniones en su complejo de cambio.

#### 4.3.1. BOMBA QUÍMICA DEL TIEMPO (BQT)

**BQT:** situación no prevista que se define como la rápida liberación de productos químicos almacenados durante un tiempo en un suelo.

**Factores** (figura 25):

- vulnerabilidad del suelo
- la entrada de productos químicos
- los usos del suelo

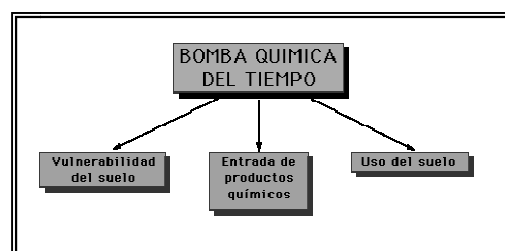


Figura 25. Factores que afectan mayoritariamente la Bomba Química del Tiempo

**PROPIEDADES CONTROL:** propiedades del suelo que sirven para controlar el riesgo de BQT.

- CIC
- TEXTURA
- PERMEABILIDAD
- SALINIDAD Y ACIDEZ
- POTENCIAL REDOX (Eh)
- GASES (el O<sub>2</sub>)

## 4.4. RESIDUOS

**RESIDUO** es 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.

**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).

**CER:** listado de todo aquello que obligatoriamente debe ser considerado residuo, ya sea peligroso o no.

### 4.4.1. CLASIFICACIÓN

#### 4.4.1.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Desechos que origina la actividad doméstica y comercial.

#### GESTIÓN DE LOS RSU.

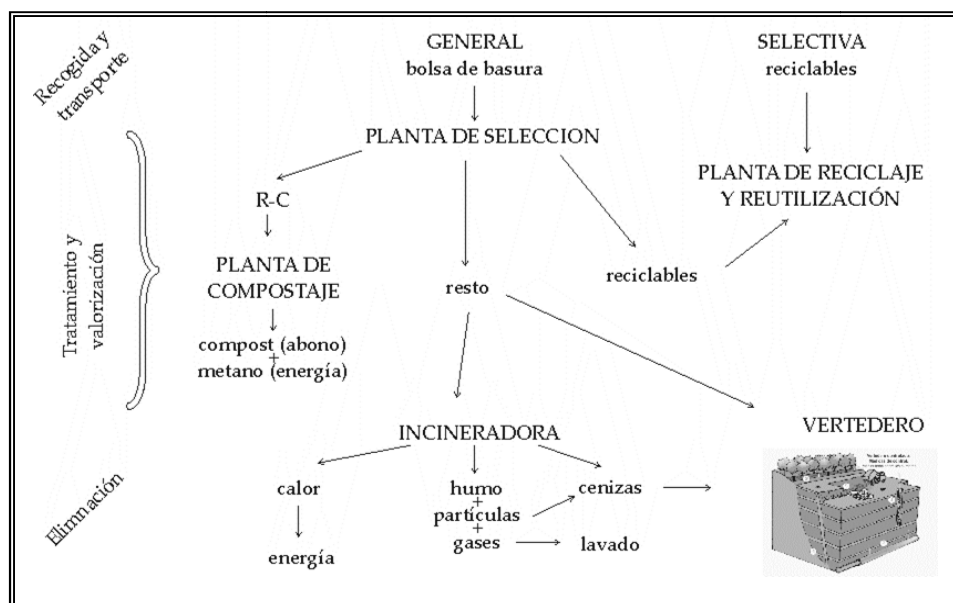


Figura 26. Correcta gestión de los RSU.

## RECOGIDA

- general: todo tipo de residuos en bolsas de basura que se depositan en los puntos de recogida.
- selectiva: residuos reciclables en contenedores específicos, garbigunes, el punto verde...

## TRANSPORTE

Los residuos procedentes de la recogida general se llevan a la planta de selección y los de la recogida selectiva se llevan a las respectivas plantas de reciclaje y utilización.

## TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN

En la planta de selección los residuos procedentes de la recogida general se separan en:

- Residuos reciclables, que junto con los procedentes de la recogida selectiva, pasan a la planta de reciclaje y recuperación.
- La materia orgánica, 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  $\text{CH}_4$  que se usa para obtener energía.
- Resto: que hay que eliminar.

## ELIMINACIÓN

Todo lo que no se recupera, recicla o composta, se elimina mediante:

- **INCINERACIÓN** (figura 26): combustión controlada de los residuos. Se produce:
  - Cenizas: menor volumen. Se llevan al vertedero.
  - Calor: energía.
  - Humo: contaminado con partículas pequeñas y gases. Las partículas se retienen en unos filtros electrostáticos que las atraen, las aglutinan y las dejan caer sobre las cenizas. Los gases tóxicos se eliminan pasando el humo por una lluvia de agua que tiene reactivos.
- **VERTEDERO CONTROLADO** (figura 27): agujero hecho en el suelo con el fondo y los laterales impermeabilizados. Los residuos se colocan en capas que luego se recubren con tierra. El agua de lixiviado se recoge en el sistema de drenaje, se lleva a una EDAR y se depura. En el vertedero hay un sistema de salida de gases procedentes de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica ( $\text{CH}_4$  que se usa para obtener energía).

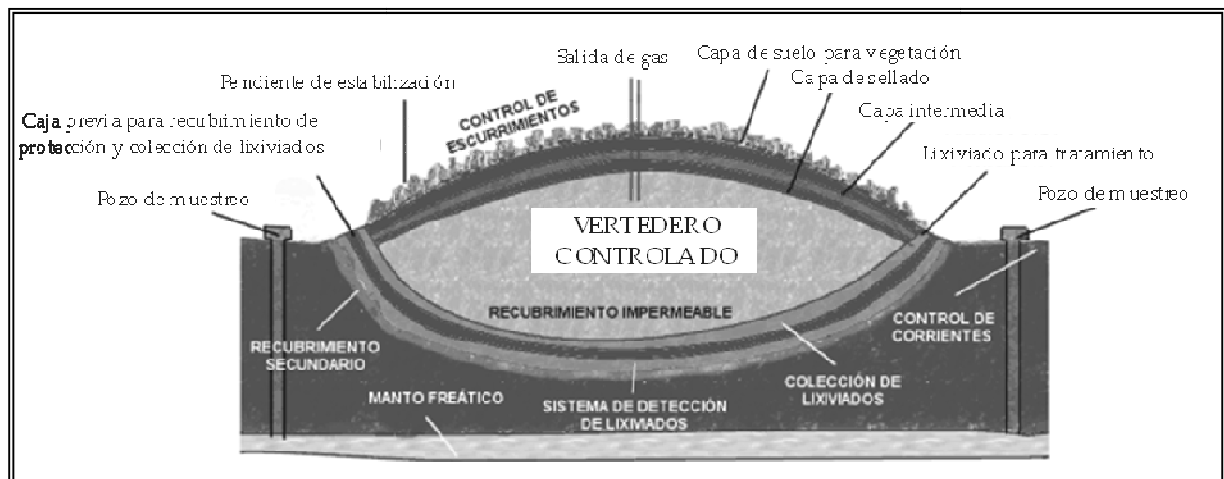


Figura 27 Esquema de un vertedero.

#### 4.4.1.2. RESIDUOS INDUSTRIALES (RSI)

**INERTES:** 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.

**TOXICOS Y PELIGROSOS:** 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...).

#### 4.4.1.3. RESIDUOS AGRARIOS

**FUENTE:** Actividad del sector primario de la economía (agricultura, ganadería, pesca, actividad forestal y cinegética) y de las industrias alimenticias

**GESTIÓN:** La mayor parte de estos residuos son orgánicos y biodegradables. Se gestionan depositándolos en el suelo, con lo que contribuyen a mantener los nutrientes del suelo. 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

FUENTE : Son los que proceden de los hospitales.

GESTIÓN: Volumen pequeño pero gestión específica según sus características:

- Asimilables: = RSU
- Clínicos sin peligrosidad específica: = RSU
- Clínicos contaminados biológicamente: Incineración o desinfección.
- Clínicos contaminados químicamente: necesitan medidas especiales.
- Especiales: residuos radiactivos y los procedentes de restos humanos que precisan un tratamiento específico marcado por la ley.

#### 4.4.1.5. RESIDUOS RADIATIVOS

- RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD: emiten altas dosis de radiación. Son muy peligrosos. Período de desintegración > 30 años. Son restos del uranio en los reactores nucleares, residuos de la fabricación de armas atómicas y restos del proceso de purificación del uranio. Se suelen vitrificar y se almacenan en contenedores. Todavía no se ha decidido dónde poner estos contenedores. Ahora están de forma provisional en las piscinas de las centrales nucleares, hasta que se decida donde almacenarlos.
- RESIDUOS DE MEDIA O BAJA ACTIVIDAD: emiten bajas dosis de radiación. Periodo de desintegración < 30 años. Son las herramientas, ropas y piezas de repuesto de las centrales nucleares, de los hospitales, laboratorios, industrias... O se vierten muy diluidos (para no superar los límites legales establecidos) a la atmósfera o al agua o se almacenan en contenedores especiales, localizados en vertederos de seguridad subterráneos.

## 4.5. DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.

### Técnicas de tratamiento:

- Técnicas de aislamiento: evitan la propagación de los contaminantes
- Técnicas de descontaminación: recuperan los suelos contaminados.

### Formas de aplicación de las técnicas

- Tratamientos IN SITU: descontaminación.
- Tratamientos ON SITE: excavación y descontaminación
- Tratamientos EX SITU: excavación, transporte, descontaminación y reposición.

#### 4.5.1. TÉCNICAS DE AISLAMIENTO:

##### ALMACENAMIENTO

Técnica ex situ que consiste en extraer el suelo y llevarlo a vertederos apropiados

##### SELLADO

Técnica in situ que consiste en excavar un túnel por debajo de la zona contaminada y rellenarlo con un impermeabilizante (cemento, arcilla...) o con un reactivo químico (barreras químicas) (figura 28).

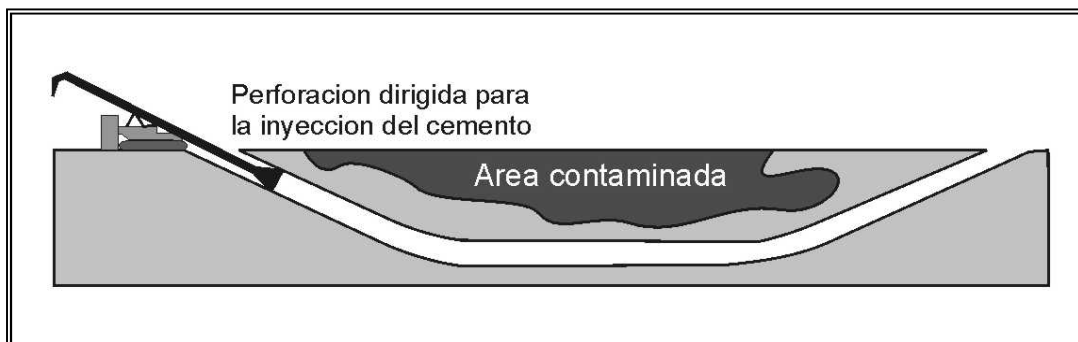


Figura 28. Técnica de sellado para la descontaminación del suelo

## VITRIFICACIÓN

Técnica in situ que consiste en fundir el suelo a elevada temperatura mediante una corriente eléctrica (figura 29). Se introducen en el suelo dos electrodos y se hace pasar una corriente eléctrica, lo que aumentará la temperatura del suelo. Los contaminantes volátiles se transformarán en gases, que se recogen 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 los contaminantes no volátiles.

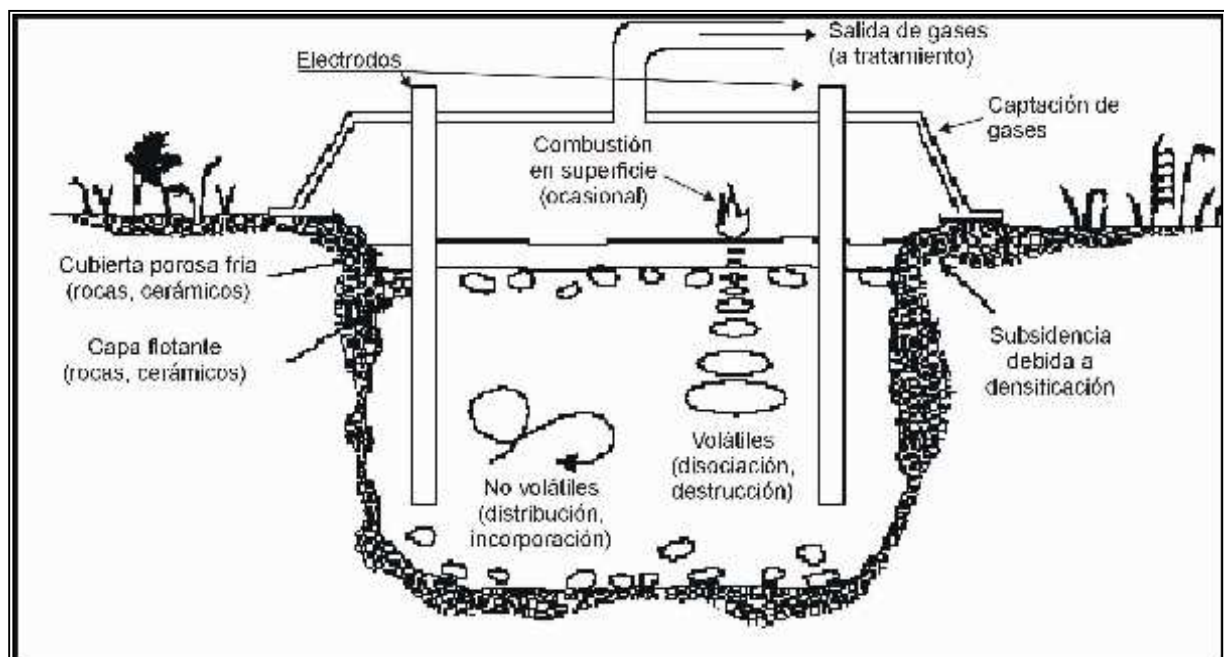


Figura 29. Técnica de vitrificación para descontaminación del suelo.



## 4.5.2. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN

### 4.5.2.1. EXTRACCIÓN POR FLUIDOS

Técnica “in situ” (aunque pueden llevarse a cabo “on site” y “ex situ”) que consiste en la depuración de los contaminantes del suelo mediante un fluido, que puede ser gaseoso (ARRASTRE) o líquido (LAVADO).

Método sencillo que exige que los contaminantes tengan alta movilidad y que sean o volátiles o solubles y que los suelos sean permeables y vulnerables (baja CIC).

#### ARRASTRE (IN SITU)

Inyectar un gas (normalmente aire) en la superficie del terreno y aspirarlo a través de un pozo de succión (figura 30) para que arrastre los contaminantes volátiles y de bajo peso molecular. Cuando sale del pozo se depura normalmente con filtros de carbono activo. Se pueden tratar grandes volúmenes de suelo a un coste razonable y con una alteración mínima del terreno.

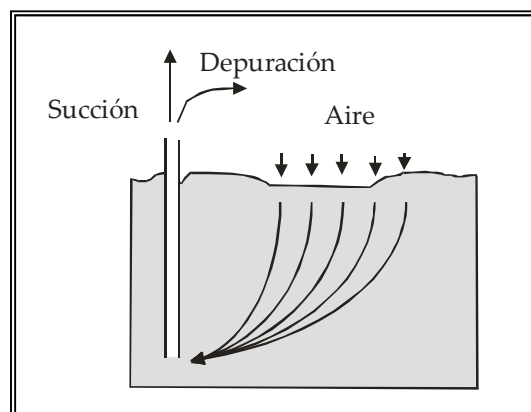


Figura 30. Técnica de arrastre para descontaminación del suelo.

## LAVADO (IN SITU)

Inyectar agua mediante hasta la zona contaminada (figura 31) para que disuelva los contaminantes solubles del suelo y recogerla después para depurarla. Permite el uso de disolventes (para facilitar la extracción), detergentes (contaminantes hidrófobos), o soluciones acidificantes (metales pesados).

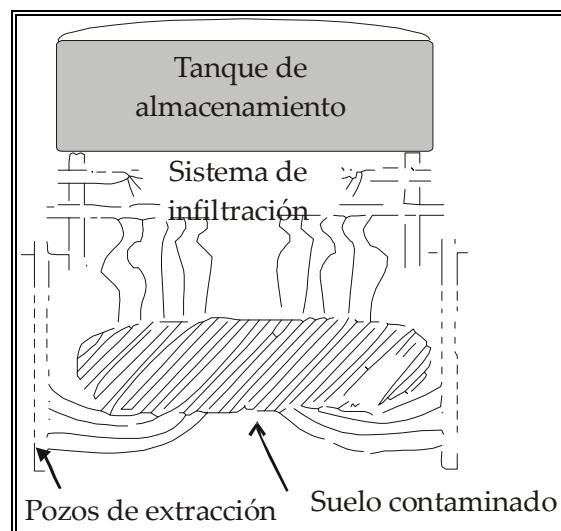


Figura 31. Técnica de lavado para descontaminación del suelo.

### 4.5.2.2. TRATAMIENTO QUÍMICO

Técnica in situ que consiste en degradar los contaminantes mediante reacciones químicas:

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

#### 4.5.2.3. TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO

También electroremediación o electrodepuración.

Técnica in situ, que consiste en desplazar los contaminantes mediante campos eléctricos (figura 32). Se introduce en el suelo un ánodo, un cátodo y una fase acuosa (facilita el movimiento). Las partículas cargadas positivamente se recogen en el cátodo y las cargadas negativamente en el ánodo. No influye en la textura del suelo ni en su permeabilidad y proporciona buenos resultados con los metales pesados y compuestos orgánicos.

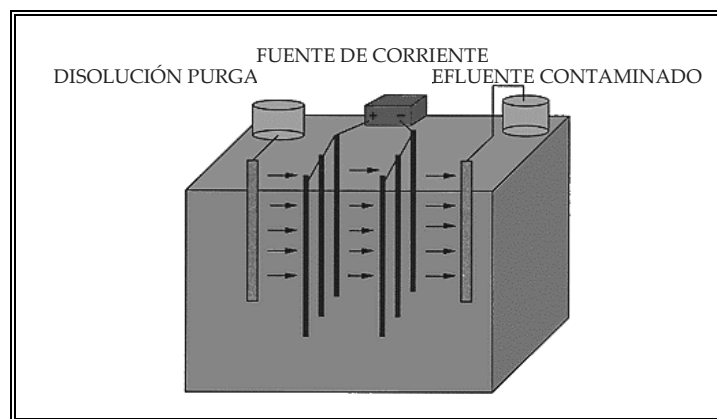


Figura 32. Tratamiento electroquímico para descontaminación del suelo.

#### 4.5.2.4. TRATAMIENTO TÉRMICO

Técnica ex situ que consiste en llevar el suelo hasta un horno y destruir los contaminantes por calor:

**INCINERACIÓN:** a 1000°C para destruir totalmente los contaminantes. Se utiliza para eliminar hidrocarburos poliaromáticos, PCB y clorofenoles.

**DESORCIÓN TÉRMICA:** 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  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  por medio de microorganismos que degraden los contaminantes. Para ello, se añaden microorganismos al agua o se potencia su crecimiento.

- **IN SITU**

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).

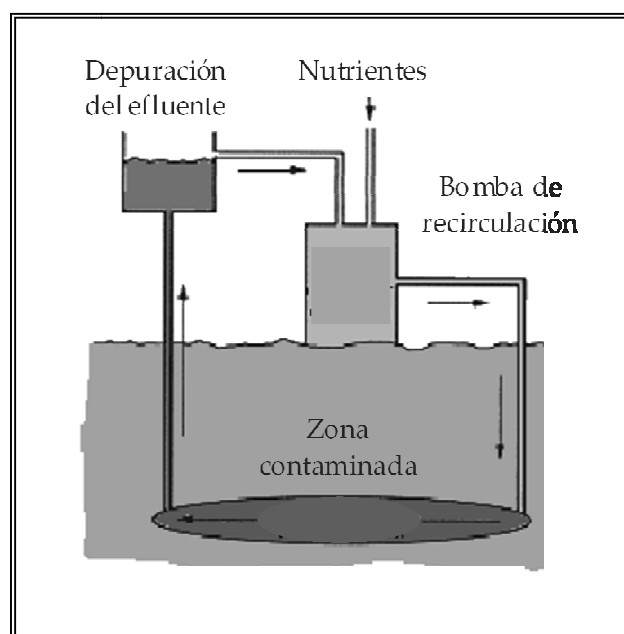


Figura 33. Tratamiento electroquímico IN SITU para descontaminación del suelo.

- **ON SITE**

El suelo se deposita 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).

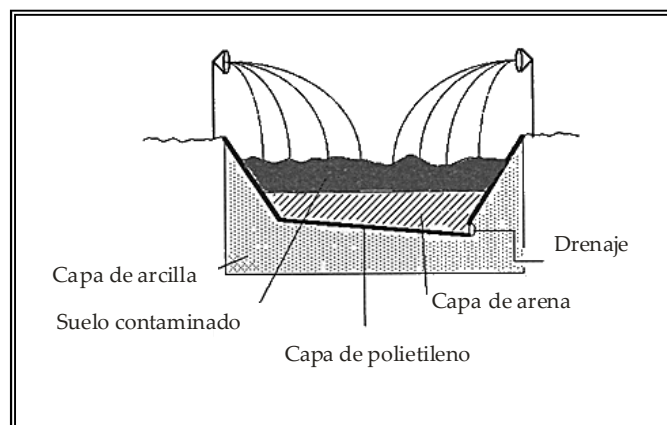


Figura 34. Tratamiento electroquímico *IN SITU* para descontaminación del suelo.

- **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.

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 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.

| 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             |                         |

### 5.1.2. 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)

- Fuente de recursos:
  - Usar los recursos naturales parcialmente renovables por debajo de su tasa de renovación
  - Los no renovables consumibles con un ritmo asimilable
  - Los no renovables y no consumibles con una intensidad de uso asumible y coherente.
- Soporte de actividades:
  - Situar las actividades en ecosistemas con alta capacidad de acogida
- Receptor de efluentes:
  - respetar la capacidad de asimilación del aire
  - respetar la capacidad de asimilación del agua
  - respetar la capacidad de asimilación del suelo.

### HITOS SIGNIFICATIVOS EN LA HISTORIA DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

|      |  |
|------|--|
| 1970 | Se crea el Club de Roma y publica “Los límites del crecimiento”.   |
| 1972 | Estocolmo. 1ª Primera Reunión Mundial sobre Medio Ambiente: “Conferencia sobre Medio Humano”   |
| 1983 | Se crea Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD)  |
| 1987 | “Nuestro Futuro Común” = informe Brundtland  |
| 1992 | Cumbre de la tierra Río´92. <ul style="list-style-type: none"> <li>• La DECLARACIÓN DE RÍO:</li> <li>• PROGRAMA 21 O AGENDA 21</li> <li>• CONVENIO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (PROTOKOLO DE KYOTO)</li> <li>• CONVENIO SOBRE BIODIVERSIDAD</li> <li>• ACUERDO SOBRE DESERTIFICACIÓN</li> <li>• DECLARACIÓN DE PRINCIPIO SOBRE BOSQUES</li> </ul> |
| 1997 | Nueva York. 2ª Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Río+5)  |
| 2002 | Johannesburgo. 3ª Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Río+10).   |
| 2007 | Yakarta. 4ª Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Río+15)  |



## 5.2. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL O ECOGESTIÓN

Realización de diligencias para conseguir que la sociedad tenga una calidad ambiental aceptable, alta.

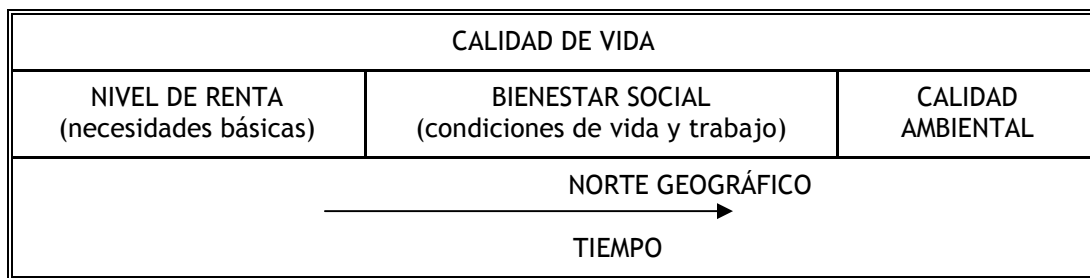


Figura 35. Componentes de la Calidad de Vida y evolución espacial y temporal

### ELEMENTOS IMPLICADOS EN LA GESTIÓN AMBIENTAL:

- **ACTIVO:** actividades que son la causa de los problemas.
- **PASIVO:** porción de medio ambiente que interacciona con la actividad = entorno

**ENTORNO** de una actividad = parte del medio ambiente que interacciona con la actividad = conjunto de factores ambientales que reciben los efectos de la actividad.

El entorno se divide en forma de árbol (tabla 22), con tres niveles: SUBSISTEMAS, MEDIOS y FACTORES AMBIENTALES. Estos últimos son realmente el elemento pasivo de la gestión ambiental, es decir, los que reciben los efectos del elemento activo.

**RECURSO AMBIENTAL:** parte de un factor ambiental que se puede explotar.

**VALOR AMBIENTAL** de un factor ambiental: 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

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

**IMPACTOS AMBIENTALES:** alteraciones que una actividad produce en su entorno.

### 5.2.2. LOS SISTEMAS DE GESTION MEDIOAMBIENTAL (SGMA)

Método de trabajo para conseguir que una empresa tenga el comportamiento medioambiental fijado previamente por la política ambiental de la empresa.

#### **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.

#### **OBJETIVOS:**

- 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

### 5.2.3. INSTRUMENTOS DE UN SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

Clasificación según el momento de su aplicación (tabla 23):

Tabla 23. Instrumentos de la gestión medioambiental.

| PREVENTIVOS (para actividades de nueva implantación) |  |
|--|--|
| Indirectos   | <p><b>Formación, sensibilización y educación ambiental</b> de todos los agentes implicados en la actividad</p> <p><b>Investigación básica y tecnológica</b> en todas las fases de producción</p> <p><b>Normativa legal</b>, por parte de la administración aprobando leyes que incluyan: limitación de efluentes, estándares...</p>  |
| Directos   | <p><b>Planificación y diseño</b> 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><b>Normalización</b> 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><b>Calidad total de diseño (GCT)</b>. 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><b>Autorregulación</b>: iniciativas de la empresa para regularse a sí misma en materia de medio ambiente.</p> <p><b>Económicos</b>: por parte de la Administración Pública: impuestos, cánones, subvenciones ...</p> <p><b>Programas de inversión ética</b> de carácter financiero, que consisten en dar apoyo financiero sólo a aquellas compañías que respeten el medio ambiente.</p> |

| CORRECTIVOS (para actividades en funcionamiento) |   |
|--|---|
| Distintivos                                      | <p><b>Etiquetado ecológico (EE)</b>. 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</p>  |
| Fedatarios <sup>1</sup>                          | <p><b>Ecobalance (ACV)</b>: 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..</p> <p><b>Auditoría ambiental (AMA)</b>: procedimiento para evaluar de forma documentada y periódica las actividades en funcionamiento</p> <p><b>Plan de vigilancia ambiental (PVA)</b> 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).</p>   |
| Ejecutivos <sup>2</sup>                          | <p><b>TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN</b></p> <p><b>Restauración</b>: llevar el factor a la situación que tenía antes de ser afectado.</p> <p><b>Rehabilitación</b>: interrumpir el proceso de deterioro y reconstruir la parte del factor alterada.</p> <p><b>TÉCNICAS DE TRATAMIENTO</b></p> <p><b>Conservación</b>: para mantener la calidad ambiental del factor.</p> <p><b>Mejora</b>: para incrementar la calidad ambiental del factor.</p> <p><b>Reutilización</b>: darle un valor ambiental distinto del que tenía antes de ser impactado.</p> <p><b>Puesta en valor</b> de factores sin valor ambiental: dar un valor ambiental.</p> <p><b>INSTRUMENTOS DE COMPENSACIÓN</b></p> <p><b>Sustitución</b> del impacto negativo por otro positivo en el mismo lugar.</p> <p><b>Contraprestación</b>: contrarrestar un impacto negativo con otro positivo en distinto lugar</p> |

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

<sup>2</sup> Actúan sobre el factor afectado

### **5.3. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)**

#### **5.3.1. DEFINICIÓN**

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**

En función del MOMENTO en que se lleve a cabo la EIA (figura 36):

- **REACTIVO:** se somete el proyecto a EIA después de haber tomado la decisión de ejecutarlo.
- **SEMIADAPTATIVO:** primero se somete al proyecto a EIA y luego se toma la decisión.
- **ADAPTATIVO:** el proyecto está incluido en un plan de actuaciones con EEA positiva, por lo que ya está ambientalmente integrado.

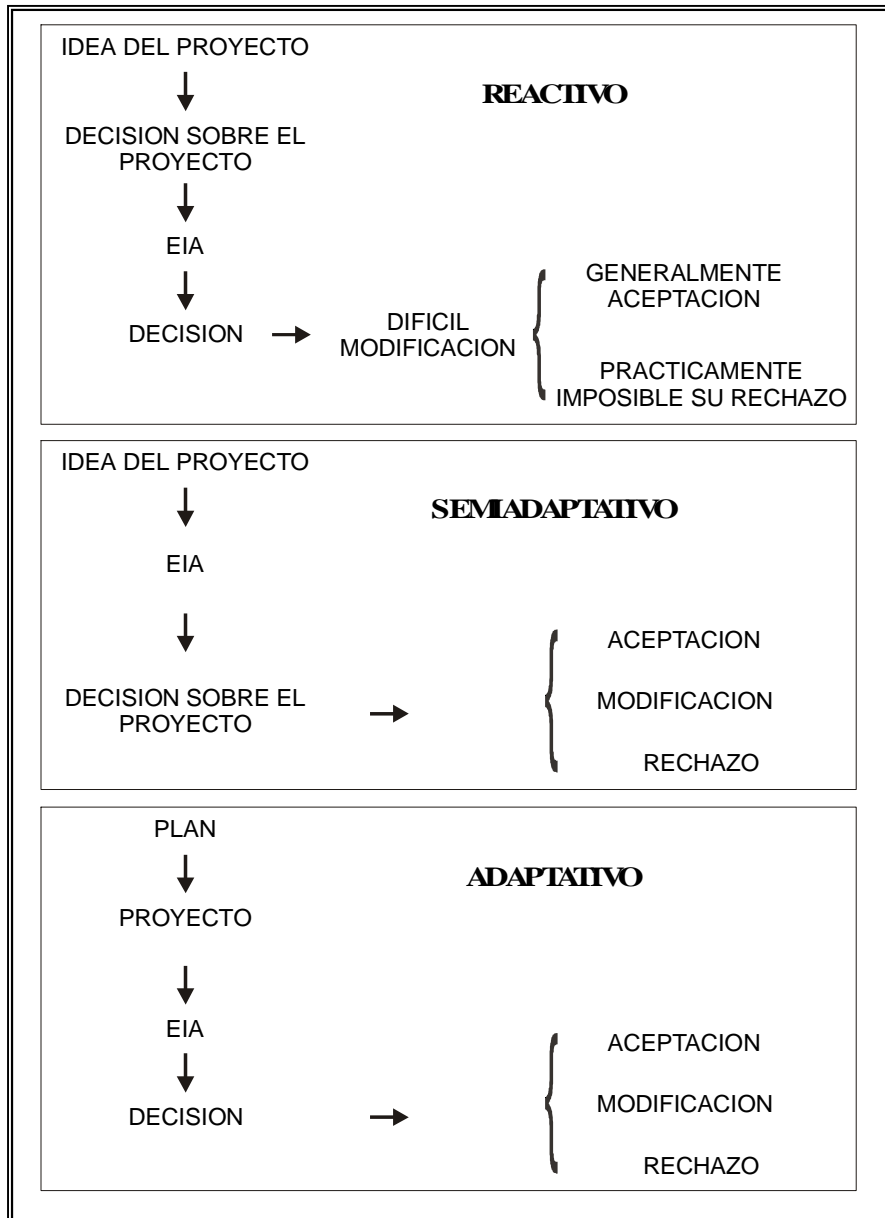


Figura 36. Proceso de toma de decisiones en el caso de la EIA de tipo reactivo, semiadaptativo y adaptativo.

En función del TIPO DE PROYECTO de que se trate (screening):

- INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL
  - Aplicación: proyectos con impacto ambiental poco importante.
  - Contenido: identificación de impactos ambientales  
pequeña valoración de los impactos.
  
- EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE IMPACTO AMBIENTAL
  - Aplicación: proyectos con impacto ambiental medio.
  - Contenido: identificación de impactos ambientales  
valoración cualitativa de los impactos.
  
- EVALUACIÓN PRELIMINAR DE IMPACTO AMBIENTAL
  - Aplicación: proyectos con impacto ambiental importante.
  - Contenido: todas las fases de la EIA pero con la información que se tenga de antemano y algunas pocas medidas de campo sin :
    - identificación de impactos ambientales
    - caracterización de los impactos
    - valoración cualitativa de los impactos
    - valoración cuantitativa de los impactos
    - formulación de medidas correctoras
    - establecimiento de un Programa de Vigilancia Ambiental
  
- EVALUACIÓN DETALLADA DE IMPACTO AMBIENTAL
  - Aplicación: proyectos con impacto ambiental muy importante.
  - Contenido: todas las fases de la EIA pero con medidas de campo, encuestas ...

Evaluación Estratégica Ambiental (EEA): 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 DEL IMPACTO AMBIENTAL”.  
Domingo Gómez Orea  
Coedición: Ediciones Mundi - Prensa / Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid 1999
- “EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL”  
Alfonso Garmendia Salvador - Adela Salvador Alcaide - Cristina Crespo Sánchez - Luis Garmendia Salvador  
Pearson Education, S.A. Madrid 2005

[http://www.igme.es/internet/web\\_aguas/igme/homeC.htm](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/higueras/mam/MAM4.htm>

<http://www.uclm.es/users/higueras/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.mma.es/info_amb/estado_ma/memor/memoria00/cap3a2.pdf)

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