

# IMPACTOS AMBIENTALES

## 1. Impactos ambientales. Aspectos generales.

### 1.1. Concepto de impacto

Se considera **impacto ambiental** a cualquier modificación de las características naturales de los sistemas terrestres (aire, agua, suelo, litoral,...), producida por las actividades humanas, (infraestructuras, urbanización, explotación de recursos, etc.). Esta definición implica tanto efectos benéficos (regeneración de áreas degradadas) como perjudiciales, pero suele utilizarse con una connotación negativa.

Los impactos globales más graves son el posible agotamiento de los recursos, la degradación ambiental por acumulación de residuos y la contaminación, siendo éste último un factor fundamental que puede alterar la regulación del equilibrio de nuestro planeta: el clima.

Existen diversos parámetros, la mayoría cualitativos, para **valorar los efectos producidos** por los impactos. Estos se pueden calificar como temporales o permanentes, localizados o extensivos, de magnitud alta, media o baja, etc. También se puede realizar una valoración o evaluación cuantitativa mediante cifras, calculadas a partir de escalas establecidas por expertos, y los resultados se expresan en matrices de doble entrada. (Evaluaciones de impacto ambiental).

Por otra parte, los efectos y consecuencias de las actividades humanas sobre el medio natural, se pueden valorar una vez realizada la acción o a priori, antes de llevarse a cabo, con carácter preventivo.

### 1.2. Evaluación del impacto ambiental (EIA)

Las directrices europeas definen el impacto ambiental como la diferencia para el medio ambiente entre la modificación que éste sufre por la intervención del ser humano y la situación en la que se encontraría si esa intervención no se hubiera producido.

La evaluación del impacto ambiental se refiere al conjunto de **estudios técnicos** que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad causa sobre el medio ambiente. La evaluación normalmente se realiza a priori, siendo un proceso jurídico-administrativo en el que las autoridades, una vez conocidos los informes técnicos, emiten un dictamen (**declaración del impacto ambiental** (DIA) favorable o no para la ejecución de un determinado proyecto.

La legislación española considera que requieren una EIA de obligado cumplimiento los proyectos de:

1. Refinerías de petróleo.
2. Centrales térmicas.
3. Centrales nucleares e instalaciones de almacenamiento o eliminación de residuos radiactivos.
4. Plantas siderúrgicas e instalaciones químicas y de extracción, tratamiento o transformación de amianto o de productos derivados.
5. Instalaciones especializadas en la eliminación de residuos tóxicos o peligrosos.
6. Construcción de autopistas, autovías, líneas de tren, aeropuertos, etc.
7. Puertos comerciales, puertos deportivos y vías navegables.
8. Construcción de presas.
9. Primeras repoblaciones forestales cuando entrañen graves transformaciones ecológicas.

### Metodología de la evaluación del impacto ambiental (EIA)

Una EIA debe identificar los elementos de riesgo de un proyecto para eliminarlos, corregirlos, minimizarlos y aconsejar o prohibir la realización del proyecto. La EIA debe tener en cuenta:

- El análisis detallado de todos los aspectos del proyecto, que será llevado a cabo por expertos.
- El estudio del medio que puede verse afectado por el proyecto, considerando todos sus componentes, tanto naturales como humanos.
- La identificación y predicción de las alteraciones que el proyecto puede ocasionar sobre el medio natural, la estimación de la probabilidad de que éstos ocurran y la proposición de alternativas viables.
- La valoración global de la incidencia del proyecto sobre los aspectos ambientales, sociales y económicos, etc. que pueden verse afectados, así como la capacidad del medio para asimilar los impactos.

El método más empleado para realizar una EIA son las **Matrices de impacto**, tablas de doble entrada que relacionan las acciones humanas, en las columnas, con factores naturales susceptibles de sufrir impactos, situados en las filas.

Actividades humanas se consideran las acciones previas, las de la fase de construcción, explotación y abandono, cambios en el uso del territorio, destino de residuos, ruidos, olores... Como factores naturales se valoran los componentes de medio físico (calidad del aire, contaminación atmosférica, clima, suelo, geomorfología, hidrología), medio biológico (flora, fauna, paisaje) y medio socioeconómico (población, patrimonio histórico, productividad primaria).

Este procedimiento permite valorar cuantitativamente los impactos de cada una de las acciones, asignando valores de 1 a 10 a la magnitud (M) referida al daño causado a los elementos naturales y otra (I) a la importancia económica y social que esa acción tiene en el conjunto del proyecto. Una vez completada la matriz, se hace una valoración global de los resultados obtenidos en ambos grupos de valores.

A posteriori, una vez producido el impacto ambiental se evalúa y establece, si es necesaria, la aplicación de diversas **medidas correctoras**, para reducir los efectos negativos que ha ocasionado. (El agua residual, procedente del uso doméstico, presenta una variación de la calidad como consecuencia de diversos impactos: presencia de materia orgánica, microorganismos, detergentes, grasas, etc. La primera medida correctora que se aplica es la depuración de esas aguas antes de ser vertidas al mar o al río.)

Muchas veces las medidas correctoras son insuficientes o no pueden aplicarse por su elevado coste. La mejor solución suele ser evitar que se produzcan impactos, aplicando **medidas preventivas**.

## 2. Impactos derivados de la explotación de recursos minerales.

Al extraer las sustancias minerales en un yacimiento, se diferencia:

- **Mena:** El mineral que se explota en un yacimiento, y que contiene el elemento que interesa, en la proporción que resulta rentable.
- **Ganga:** El mineral o roca que acompaña a la mena y que carece de valor o interés en esa explotación, aunque en algunos casos se aprovecha como producto secundario.

En el caso de las rocas industriales, el concepto de mena y ganga carece de sentido, ya que no se explotan por sus componentes sino por otras propiedades como dureza, color, tenacidad, etc.

Por otra parte, las explotaciones mineras varían en función de varias características:

a) **Explotaciones superficiales:** Se realizan en zonas donde el mineral se encuentra a poca profundidad. Los costes son relativamente bajos por lo que permite explotar yacimientos de mineral de poca concentración. Existen diferentes tipos de explotaciones superficiales:

- . Canteras: Suelen realizarse para extraer rocas de interés industrial, en frentes verticales de laderas, cortándolas en bloques o desprendiéndolas mediante explosivos.

- . Excavación: Cuando el mineral o roca se halla en capas cerca de la superficie. Son explotaciones poco profundas pero de gran extensión. Los áridos se explotan mediante excavaciones en lugares donde se acumulan de forma natural como lechos de ríos, arenas de playas, cenizas volcánicas, etc.

. Explotaciones a cielo abierto: Se usan para extracción de minerales o rocas distribuidos de manera desigual sobre el terreno. Se excava una gran abertura en forma de embudo, dejando laderas escalonadas en las que se producen voladuras con explosivos que provocan el desprendimiento del mineral.

b) **Explotaciones subterráneas:** Forman una red de perforaciones verticales (pozos) y horizontales (galerías), que siguen las capas del mineral en el subsuelo. Requieren soportes para sujetar el techo de las galerías y pozos de ventilación para la renovación del aire en el interior de la mina.

c) **Perforaciones y sondeos:** Son estructuras cilíndricas huecas realizadas en la roca mediante máquinas perforadoras. Se utilizan para extraer minerales solubles como sales, inyectando agua caliente en la perforación, y para extraer fluidos del subsuelo (como agua, petróleo o gas).

Las infraestructuras necesarias para cualquier explotación minera contribuyen a la producción de los impactos, como: las vías de acceso y vehículos de transporte de mineral, la maquinaria utilizada para la extracción y las instalaciones para el tratamiento del mineral (trituration, separación, lavado, etc.), las zonas necesarias para la acumulación de los estériles (escombreras).

Los principales impactos que se producen en las explotaciones mineras son:

a) **Impactos atmosféricos:** Las explotaciones mineras contaminan el aire en las voladuras y extracción mecanizada de mineral. Además la carga y transporte de materiales produce gran cantidad de polvo en las zonas próximas y las máquinas utilizadas en la extracción y transporte, generan gases contaminantes (óxidos de carbono, nitrógeno y azufre).

b) **Impactos edáficos:** El suelo queda afectado por las explotaciones mineras incluso llegando a desaparecer, junto con la vegetación, lo que favorece la erosión. También se contamina por el agua utilizada en el lavado del mineral, ya que arrastra elementos que contaminan el suelo cuando se vierten. Especialmente graves son los efectos de residuos en las explotaciones de aluminio, cobre, hierro.

c) **Impactos hidrológicos:** Las explotaciones degradan la calidad del agua al llevar contaminantes que pasan a las aguas superficiales y subterráneas. Los estériles llevan contaminantes que se infiltran con el agua de lluvia y pueden contaminar los acuíferos. En las explotaciones de áridos, se llega con frecuencia al nivel freático y se produce contaminación de los acuíferos.

Las explotaciones mineras también limitan las actividades agrícolas y ganaderas de las zonas debido a la utilización del terreno y la contaminación de las aguas de riegos.

d) **Impactos morfológicos:** El paisaje y el relieve queda afectado por las excavaciones, acumulación de estériles, creación de taludes, cambios de pendiente, formación de oquedades. Las excavaciones subterráneas pueden provocar cuando se abandona la explotación, el hundimiento de grandes áreas (subsidiencias), y la aparición de lagunas en estas zonas hundidas.

e) **Impactos visuales:** Las explotaciones hacen desaparecer zonas de vegetación y bosque, acumulan estériles y trazan vías de tránsito, dejando grandes extensiones descubiertas, que provocan un fuerte impacto visual.

f) **Impacto acústico:** Se genera gran cantidad de ruido producido por la maquinaria de extracción, por las explosiones, por tráfico de camiones y maquinaria de tratamiento del mineral.

g) **Impactos socioeconómicos:** Las minas originan cambios de tipo social y económico porque son fuentes de creación de empleo y estimulan la actividad económica. Pero, con frecuencia se producen accidentes y víctimas mortales, con un gran impacto social. Muchas explotaciones mineras actuales se encuentran en el Tercer Mundo, pero los minerales obtenidos, se transforman y utilizan en los países desarrollados, viéndose obligados muchos países pobres a sobreexplotar sus recursos naturales para subsistir sin que repercuta en ellos la riqueza que se obtiene en sus propios recursos.

Las explotaciones mineras dejan una huella en el paisaje, y al ser abandonadas quedan grandes áreas desoladas e inutilizables para usos posteriores. La legislación actual obliga a las compañías mineras a **recuperar las zonas afectadas, con proyectos de restauración** y, por tanto, tienen que diseñar planes para

asegurar la recuperación del entorno. Esta recuperación es muy costosa y ha de tenerse en cuenta a la hora de valorar la rentabilidad de las explotaciones mineras. Entre las medidas que se toman:

- a) El diseño de la explotación debe realizarse para reducir al máximo los impactos acústicos y visuales. Para ello la explotación debe ser en forma de tronco de cono. Además, conviene colocar pantallas de protección acústica y visual, como hileras de árboles, y silenciadores en la maquinaria.
- b) Evitar los vertidos a las corrientes de agua próximas y los acuíferos.
- c) Rellenar las fosas con estériles o escombros siempre que no sean contaminantes. Los materiales utilizados deben tener parámetros hidráulicos (permeabilidad y porosidad) semejantes al original para que se restablezca la hidrología del terreno.
- d) Eliminar las instalaciones no útiles y realizar reforestaciones con especies autóctonas.
- e) Utilizar la explotación para otros usos como la instalación en estas zonas de áreas deportivas, industriales o vertederos. Cuando en la excavación de áridos se llega al nivel freático se pueden crear lagos como zonas recreativas.

A pesar de todo esto, las explotaciones mineras producen cambios o impactos irreversibles.

### 3. Impactos derivados del uso de los suelos

El suelo se puede empobrecer en alguno de sus nutrientes o perder alguna de sus propiedades después de haber soportado determinados cultivos. También puede sufrir un grave deterioro al recibir contaminantes sólidos o líquidos por vertidos industriales, agrícolas, etc.

Pero el principal riesgo que puede sufrir es su degradación o su pérdida total o parcial, por sufrir intensos **procesos de erosión**, que siendo procesos geológicos naturales, pueden verse intensificados por las actividades humanas y originar graves **consecuencias** ecológicas y sociales como:

- Aterramiento o colmatación de los embalses por acumulación de sedimentos.
- Agravamiento de las inundaciones.
- Deterioro de ecosistemas naturales, fluviales y costeros, por excesivo aporte de sedimentos (por ejemplo, la elevada sedimentación marina debida a la deforestación de los bosques tropicales o de los manglares puede llegar a acabar con los arrecifes de coral).
- Pérdida de suelo cultivable, contribuyendo al proceso de desertización.

#### 3.1. Factores que influyen en el riesgo de erosión:

La erosión se ve afectada por factores de tipo climático, por el relieve, por el tipo de suelo y de vegetación, y por los usos humanos (la tala o los incendios aumentan la vulnerabilidad del suelo).

El mejor medio de controlar la erosión de las tierras cultivadas es la ordenación del territorio plantando las especies vegetales de mayor cobertura y fomentando una rotación de cultivos para poder lograr una producción alta y sostenible.

#### 3.2. La recuperación de zonas erosionadas se puede conseguir con los siguientes procedimientos:

- Aumentar la infiltración y evitar la escorrentía mediante cultivos adecuados y aplicando técnicas de arado que sigan las curvas de nivel, o aterrazando con muros que impidan la erosión.
- Evitar el retroceso de los barrancos construyendo diques en las cárcavas o repoblación forestal.
- No cultivar en zonas marginales o con excesiva pendiente, transformando esos espacios en pastizales estables, reforestando e instalando cortafuegos que impidan la extensión de los incendios.
- Las construcciones lineales producen cortes en las laderas, que aumentan la erosión y los deslizamientos. En esos casos cabe tomar medidas, como la construcción adaptada al relieve, drenajes adecuados, repoblación de los taludes y muros de contención en lugares con peligro de deslizamientos.

### 3.3. Desertización y desertificación

Según la conferencia del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), de 1977 la desertización se define como el "proceso de degradación ecológica por el cual la tierra productiva pierde parte o todo su potencial de producción, que lleva a la aparición de las condiciones desérticas".

A veces se diferencia entre la **desertización** como el proceso natural por el que se degrada un suelo (dependiente del clima, el relieve y la naturaleza de las rocas), y la **desertificación** como proceso inducido por las actividades humanas sobre un terreno frágil, por el que una superficie de terreno, al perder las características naturales de su suelo, sufre consecuencias sociales y económicas (despoblación, pérdida de recursos de las áreas degradadas, etc.). Lo más habitual es que estos procesos resulten de la confluencia de factores climáticos (sequía, precipitaciones esporádicas y torrenciales) con otros debidos a la acción humana (exceso de riego, deforestación, cultivos en zonas de pendiente, sobrepastoreo, etc.).

Según datos del PNUMA, el 35% de la superficie de los continentes puede considerarse área desértica. Dentro de estos territorios sobreviven millones de personas en condiciones de persistente sequía y escasez de alimentos. Se considera que la expansión de estos desiertos se debe a acciones humanas.

La **degradación de un suelo** consiste en la pérdida o empobrecimiento de sus cualidades naturales, por la que disminuye su valor como recurso natural y va asociada o desencadena procesos de desertización. La degradación química supone una pérdida de fertilidad por lavado de nutrientes o por acidificación, salinización o toxicidad por añadido de elementos contaminantes. La física produce pérdida de estructura, como la compactación del suelo por empleo de maquinaria pesada o por el pisoteo. La biológica, hace desaparecer la materia orgánica o la mineralización del humus. Y la hídrica, disminuye la humedad del suelo, desencadenando la desertización.

### 3.4. Erosión y desertización en España

España sufre alto riesgo de desertización por erosión de sus suelos a causa de prácticas agrícolas y forestales inadecuadas, incendios forestales, obras públicas y actividades mineras. Este riesgo está favorecido por: fuertes pendientes y acusado relieve, clima mediterráneo (precipitaciones irregulares y a veces torrenciales), abundancia de terrenos arcillosos de difícil drenaje, degradados por una precaria gestión de los recursos hídricos y una inadecuada política forestal y agraria.

## 4. Impactos producidos por la contaminación del agua

La contaminación del agua se produce cuando se le añaden sustancias o se le aplican cambios físicos que alteran sus características y, por tanto, su calidad, constituyendo un perjuicio para la explotación y consumo de los recursos hídricos.

**4.1 La contaminación de las aguas continentales** puede tener varios orígenes:

- **Natural:** presencia de sustancias en el agua sin intervención humana, (polen, esporas, hojas, excrementos). Estos residuos son normalmente eliminados por la capacidad autodepuradora del agua.

- **Antrópica:** causada por las actividades humanas. Por su origen puede ser: contaminación urbana, agrícola, ganadera, industrial y minera. Estos contaminantes no pueden ser eliminados por el ciclo de autodepuración del agua ya que su elevada concentración o su naturaleza no lo permiten, entonces se acumulan y trasladan a distintos compartimentos de la hidrosfera, suelo y biosfera.

4.1.1. • La **contaminación urbana** puede ser producida por:

Aguas domésticas: como las que provienen del uso de cocinas (con sales, materias grasas, sólidos en suspensión,...), de baños (con jabones, detergentes, cosméticos,...) o las aguas negras con restos de excrementos, con gran cantidad de microorganismos tanto aerobios como anaerobios.

Aguas de limpieza y riego: contaminadas por vertidos del tráfico, sustancia de limpieza, abonos de parques y jardines, etc. A veces se vierten directamente a los ríos o al mar sin ser limpiadas o depuradas.

4.1.2. • La **contaminación agrícola**: los pesticidas o plaguicidas y abonos son arrastrados por el agua de riego o lluvia y contaminan las aguas subterráneas y los ríos.

- Los pesticidas contienen sustancias tóxicas que se transmiten a lo largo de la cadena trófica produciendo “bioacumulación”, fenómeno por el que algunos contaminantes se incorporan a la cadena trófica. Su concentración aumenta a medida que asciende el nivel en la cadena trófica, ya que los depredadores consumen gran número de presas contaminadas.

- Los abonos contienen entre otras sustancias, nitrógeno y fósforo que contribuyen al proceso de eutrofización de las aguas.

4.1.3. • La **contaminación ganadera**: los purines son los excrementos del ganado. Muchas veces son vertidos directamente al agua o se utilizan para abonar los campos de cultivo, contaminando las aguas superficiales y subterráneas. Los purines provocan proliferación de microorganismos, muchos de ellos patógenos y eutrofización de las aguas por grandes aportes de nitrógeno.

4.1.4. • La **contaminación industrial y minera**: aporta al agua contaminantes como: materia orgánica, metales pesados, e incrementa el pH, y Tª. La composición de estas aguas residuales es muy diversa y depende de la industria que las genera. Entre las más contaminantes están las petroquímicas, energéticas, textiles, papeleras, siderúrgicas, alimenticias y mineras. La utilización industrial del agua como refrigerante produce contaminación térmica al devolver el agua más caliente, lo que disminuye la concentración de oxígeno disuelto, provoca la muerte de peces y dificulta la vida de muchas especies.

La energía nuclear genera residuos de baja y alta actividad cuyo almacenamiento subterráneo se ha de hacer con la mayor seguridad con el fin de evitar filtraciones en las aguas subterráneas. El uso del agua en los sistemas de refrigeración de las centrales nucleares produce contaminación térmica.

El origen de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas es prácticamente el mismo. Sin embargo, la **contaminación de las aguas subterráneas** es más grave porque:

- La detección de la contaminación en las aguas superficiales se percibe inmediatamente.
- La autodepuración de las aguas superficiales es rápida, ya que se renuevan con rapidez. Una vez anulado el foco contaminante, en poco tiempo se vuelve a la normalidad. Además la depuración artificial es relativamente fácil. En los acuíferos la autodepuración es lenta y la depuración artificial es sumamente difícil y costosa.

## 4.2. La contaminación de las aguas oceánicas.

Los mares poseen una gran capacidad autodepuradora, pero el vertido de enormes cantidades de contaminantes está provocando el aumento de su concentración. Los contaminantes pueden proceder de:

- Las aguas continentales contaminadas urbanas o industriales que descargan en el mar.
- Los contaminantes de la atmósfera, que retornan a la superficie terrestre.
- Los vertidos de petróleo procedentes de la extracción en las plataformas petrolíferas, el trasvase, descarga y la limpieza de los barcos petroleros. Suponen un vertido de cerca de tres millones de toneladas de petróleo al año y dan origen a las denominadas **mareas negras**.

Muchos contaminantes se concentran en la zona costera afectando a la plataforma litoral, que es una zona de gran actividad biológica. Esto ocasiona una pérdida de biodiversidad y de recursos biológicos.

4.3. Según la **naturaleza de los contaminantes**, la contaminación puede ser:

a) **Física**: producida por diversos agentes como temperatura, calor, turbidez y radioactividad.

• Se produce contaminación térmica al utilizar el agua en la industria como refrigerante, en centrales térmicas y nucleares y en los embalses. El agua usada vertida al río o al mar, posee una temperatura superior, provocando efectos como: reducción de la cantidad de oxígeno disuelto; variación en el tipo de especies adaptadas a límites estrechos de temperatura; aumento de la velocidad de reacciones químicas, que reduce la capacidad autodepuradora y eleva la toxicidad de algunas sustancias.

- **Sólidos en suspensión.** Son partículas inorgánicas como limos, arenas, lodos, o partículas orgánicas como restos animales y vegetales que producen turbidez en las aguas que afecta de manera negativa a la fotosíntesis, ya que disminuye la transparencia de las aguas y con ello la entrada de la luz provocando alteraciones en las cadenas tróficas y dificultad en la movilidad y respiración de organismos acuáticos.

- **Partículas radiactivas.** Emitidas por residuos generados en centrales nucleares, en hospitales, centros de investigación, etc. que producen contaminación radiactiva. Afecta a las células somáticas causando lesiones graves como el cáncer y en las células germinales, mutaciones en la descendencia.

b) **Química:** originada por sustancias diversas, sólidas, líquidas o gaseosas, disueltas o en suspensión. Proceden principalmente de actividades industriales, aunque ciertas sustancias como nutrientes orgánicos, detergentes y pesticidas, también tienen un origen doméstico y agrícola. Los contaminantes químicos pueden ser:

- **Inorgánicos:** como los ácidos, álcalis y sales como los nitratos y fosfatos. Especialmente tóxicos son el cianuro y metales pesados como el Hg, Cd, Cr, Pb... y menos tóxicos el Al o el Fe. Algunas de estas sustancias son biodegradables (nitratos y fosfatos), pero otras no, como los metales pesados. Las biodegradables pueden ser descompuestas por organismos diversos, especialmente bacterias aerobias.

- **Orgánicos:** como proteínas, hidratos de carbono, aceites, grasas, ceras, alquitranes, detergentes, que son biodegradables y pesticidas y otros compuestos de síntesis química, que son poco o nada biodegradables y que proceden de aguas residuales domésticas, industriales o de actividades agrícolas.

Los efectos de estas sustancias en las aguas son: disminución del oxígeno disuelto, al ser consumido por las bacterias en la descomposición aerobia, y formación de sustancias indeseables por fermentación anaerobia, como ácidos orgánicos o gases (sulfuro de hidrógeno, metano, amoníaco, etc.) que causan malos olores. Merece especial atención la contaminación producida por detergentes y pesticidas. Los detergentes producen espumas dificultando el intercambio de gases y reduciendo los procesos biológicos. Los pesticidas son en muchos casos tóxicos y se acumulan en las cadenas tróficas.

c) **Biológica:** se debe a la presencia de los diferentes tipos de organismos: virus, cianobacterias, algas, protozoos, hongos, presentes en las aguas residuales y de la materia orgánica en suspensión procedente de los seres vivos. Cuando hay materia orgánica en gran cantidad, las aguas son un auténtico caldo de cultivo, lo que provoca la proliferación de organismos y, por tanto, la pérdida de calidad del agua. La contaminación por microorganismos patógenos resulta muy peligrosa pues convierte el agua en un vehículo de transmisión de múltiples enfermedades como el cólera, disentería, etc.

#### 4.4. Contaminación de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas tienen actualmente tres problemas:

- La **contaminación** de las aguas subterráneas puede ser **puntual** con un foco localizado que afecta a una zona concreta o **difusa** que afecta a zonas amplias como el caso de los fertilizantes en agricultura. El origen de estos contaminantes son: residuos sólidos urbanos procedentes del lixiviado e infiltración del agua de lluvia, actividades agrícolas que aportan restos de fertilizantes y plaguicidas, ganadería, actividades industriales que pueden verter líquidos, y actividades mineras, cuyas aguas residuales suelen contener metales pesados tóxicos (Pb, Cu,...).
- La **sobreexplotación** de los acuíferos ocurre si se extrae agua en cantidad superior a su velocidad de recarga provocando un descenso del nivel freático.
- En los acuíferos costeros, se produce el fenómeno de la **intrusión salina**, según la cual, el agua salada debido a su mayor densidad invade el espacio del acuífero y origina un reemplazamiento del agua dulce del acuífero por agua salada, produciéndose una salinización del agua subterránea. La concentración de sales inutiliza el uso del agua para uso doméstico y para la agricultura. En España es frecuente en las Islas y en el litoral mediterráneo y se debe a la demanda de agua para uso doméstico ya que son zonas turísticas, usos agrícolas y la demanda industrial.

#### 4.5. La eutrofización de las aguas

El fenómeno de la EUTROFIZACIÓN se produce principalmente en lagos y embalses, aunque también se da en los ríos de régimen lento e incluso en aguas litorales (zonas portuarias). Se debe a un exceso de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno. La eutrofización de los lagos es un hecho natural. Sin embargo, afecta últimamente a muchos embalses y lagos debido al abuso de fertilizantes (nitratos y fosfatos) cuyos excedentes son arrastrados por la lluvia, y al excesivo consumo de detergentes con fosfatos, vertidos por las aguas residuales a los cauces. En el proceso podemos diferenciar tres etapas:

- Proliferación del fitoplancton: el exceso de nitratos y fosfatos favorece un rápido y excesivo crecimiento de algas y plantas acuáticas, que dan una coloración verdosa, que impide que la luz solar alcance mayor profundidad.

- Degradación aerobia de la materia orgánica: la disminución de la luz provoca la muerte de los organismos fotosintéticos y la acumulación de materia orgánica en los fondos. Esta materia es descompuesta por bacterias aerobias que consumen grandes cantidades de oxígeno. Al escasear el oxígeno empiezan a morir las poblaciones animales.

- Degradación anaerobia de la materia orgánica: se desarrollan bacterias anaerobias que fermentan la materia orgánica presente y desprenden sustancias como H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> que proporcionan mal olor y sabor a las aguas. Así aparecen las aguas eutrofizadas: estancadas, coloreadas y con malos olores.

**Medidas** para evitar o reducir la eutrofización:

- Reducir el aporte de nutrientes, usando detergentes sin fosfatos y reduciendo los fertilizantes.
- Depurar las aguas residuales de origen doméstico e industrial.

#### 4.6. El ciclo urbano del agua

El agua que se utiliza en las poblaciones recorre un ciclo: se toma del medio natural y, una vez usada y depurada, se reintegra de nuevo al medio. En este ciclo podemos diferenciar tres fases:

##### A. Captación

- Elegir acuíferos con recursos superiores a las necesidades de la población.
- Que las aguas sean de la mejor calidad.
- Localizar el lugar de captación lo más cercano posible al punto de destino del agua.

##### B. Potabilización

Se realiza en Estaciones de tratamiento de Aguas Potables (ETAP). La finalidad es conseguir buenas características organolépticas y ausencia de riesgos sanitarios para la población. Consta de tres etapas:

- Decantación de partículas en suspensión. Manteniendo el agua en reposo y añadiendo sustancias que aglutinan las partículas pequeñas.

- Filtrado. Pasando el agua por lechos de arena, se airea para eliminar los gases que pudiera contener y mejorar las características organolépticas. También se ajusta el pH y la dureza.

- Desinfección. Se realiza con cloro o hipoclorito, más barato y fácil de aplicar. A veces se sustituye la cloración con tratamientos con ozono o radiaciones UV, que son procedimientos más caros.

##### C. Depuración

Estos procesos rebajan la contaminación con el fin de facilitar la autodepuración, reutilizar las aguas residuales en regadíos y favorecer la potabilización evitando riesgos para la salud. Se diferencian dos grupos de sistemas depurativos. En ambos casos se realiza por actividad metabólica de microorganismos.

- Sistemas depurativos de bajo coste: El más importante es el sistema de lagunaje múltiple que reproduce la transformación que el agua experimenta en el medio natural mediante su retención en lagunas artificiales. Tiene buenos rendimientos, pero ocupa extensos terrenos, por lo que solo se utiliza en poblaciones pequeñas.



- Sistemas depurativos convencionales: requieren altas inversiones y son eficaces para limpiar el agua de medianas y grandes poblaciones. Se realiza en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) que tratan de eliminar o reducir los contaminantes para preservar el medio ambiente, en 4 fases:

- a) Pretratamiento: se producen el desbaste o extracción de residuos gruesos, mediante rejillas y tamices, el desarenado y desengrasado.
- b) Tratamiento Primario: el objetivo es reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua residual por sedimentación en grandes balsas. Se puede mejorar con floculantes.
- c) Tratamiento secundario o biológico: se elimina la materia orgánica mediante el metabolismo de microorganismos anaerobios y aerobios, que forman los fangos activos con capacidad depuradora. Los fangos una vez tratados pueden incinerarse para obtener energía, elaborar fertilizantes y compost o depositarlos en vertederos. El proceso anaerobio genera biogás (mezcla de metano, CO<sub>2</sub> y vapor de agua) que se consume en la propia planta o se quema.
- d) Tratamiento terciario: se eliminan patógenos (por ejemplo mediante cloración), metales pesados, fosfatos y nitratos. Este tratamiento se realiza solo si el agua va a volver a ser utilizada.

El producto final principal es el agua depurada que se incorpora a los cauces, pero también se producen otras sustancias principalmente fangos ricos en materia orgánica que se producen en las sucesivas decantaciones y en el tratamiento biológico y el biogás.

## 5. Impactos producidos por la contaminación atmosférica

**5.1. La Contaminación atmosférica** podemos definirla como cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto en el hombre, los animales, la vegetación o los materiales.

La **contaminación natural** procede principalmente de la actividad geológica de la Tierra, como los gases emitidos en las erupciones volcánicas, incendios naturales, tempestades de polvo y la actividad biológica de la biosfera (producción de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>).

La **contaminación antrópica** procede de actividades humanas, principalmente la combustión de combustibles fósiles y sus derivados, en la industria, en centrales térmicas, siderometalúrgicas, en el transporte o en el uso doméstico. Otras fuentes antrópicas son debidas a actividades agrícolas y ganaderas, como la quema de bosques para aumentar el suelo agrícola, la quema de rastrojos, la emisión de gases por los fertilizantes (N<sub>2</sub>), por el ganado (CH<sub>4</sub> producido en el tubo digestivo). Una fuente de emisión que está creciendo es la incineración de residuos sólidos, esta práctica si no se realiza de manera adecuada puede producir emisiones de N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>3</sub>, dioxinas, etc.

Los contaminantes químicos se denominan primarios cuando proceden directamente de la fuente emisora, y secundarios si se producen como consecuencia de las transformaciones que experimentan los contaminantes primarios en la atmósfera.

### 5.2. Dispersión de los contaminantes

De todos los contaminantes, una parte considerable va a parar al mar y el resto se reparte por los distintos países según los vientos dominantes, la orografía y la posición geográfica.

La mayor parte de los contaminantes se difunden en la parte baja de la troposfera, donde interactúan entre sí y con los demás compuestos presentes, antes de su deposición. Otros ascienden a alturas considerables y son transportados hasta lugares muy alejados del foco emisor. Un tercer grupo, más reducido, puede llegar a traspasar la tropopausa e introducirse en la estratosfera.

Los contaminantes que se difunden en la parte baja de la troposfera presentan un **ciclo de emisión-deposición** que se puede resumir en tres etapas:

1. Mezcla de contaminantes. Los contaminantes primarios emitidos, se mezclan e incorporan a las masas de aire y se distribuyen de forma homogénea, lo que favorece las transformaciones químicas.
2. Los contaminantes primarios sufren procesos químicos y fotoquímicos, generando otras sustancias (contaminantes secundarios), cuyas propiedades son muy diferentes de las de sus precursores.
3. Deposición. Los contaminantes, transformados o no, retornan a la superficie terrestre, donde se incorporan al agua y al suelo.

El ciclo de emisión-deposición puede estar influido por circunstancias como:

- a) Las características de las emisiones: tipo de contaminante, temperatura de la emisión, altura.
- b) Condiciones atmosféricas: Además de los vientos y precipitaciones, influyen los anticiclones, que al ser zonas de estabilidad, dificultan la dispersión de los contaminantes y las borrascas, de inestabilidad (viento y lluvias), favorecen la dispersión.
- c) Características geográficas y topográficas: las zonas costeras con brisas, facilitan la dispersión; en los valles se forman vientos locales por gradiente de  $T^a$  entre las laderas más soleadas y el fondo umbrío.

**En las ciudades** existe un microclima peculiar que genera movimientos locales del aire. Esto ha llevado a definir las urbes como **islas térmicas**, debido a que las temperaturas son más elevadas que en las zonas rurales circundantes. Así, se forman células convectivas que incorporan el aire de zonas circundantes al aire urbano. Dada la existencia de cinturones industriales en el entorno de las medianas y grandes ciudades, los gases emitidos por estas industrias se incorporan a la atmósfera urbana.

Al ascender el aire contaminado y no poder dispersarse, se reincorpora a la circulación del aire urbano. Las partículas suspendidas en altura absorben la radiación solar y la capa superior se calienta fuertemente, manteniendo aire muy contaminado y caliente arriba formando una cúpula o boina de contaminantes y algo menos contaminado y frío abajo de modo que la inversión y excesiva contaminación en la ciudad puede mantenerse días o semanas, mientras continúe la situación anticiclónica.

La presencia de vegetación actúa como sumidero de CO<sub>2</sub>, ya que lo toma de la atmósfera para la fotosíntesis y lo elimina del aire como contaminante. Además, disminuye la contaminación al frenar la velocidad del viento y facilitar la deposición de partículas que quedan retenidas por las hojas.

### 5.3. Medidas de prevención y corrección de la contaminación del aire

**5.3.1. Medidas preventivas**, encaminadas a evitar la aparición del problema, como son:

- La planificación de usos del suelo, que mediante los planes de ordenación del territorio contemplen los lugares idóneos para establecer industrias.
- Las evaluaciones de impacto ambiental, que son estudios previos de las alteraciones que sobre el medio ambiente en general y sobre la atmósfera provocan determinadas acciones.
- El empleo de tecnologías de baja o nula emisión de residuos.
- Programas I+D de búsqueda y aplicación de fuentes de energía alternativas menos contaminantes
- Mejora de la calidad y el tipo de combustibles o carburantes, que no generen contaminantes (el empleo de gasolinas sin plomo) o que emitan menos (como el gas natural con contenido en azufre).
- Medidas sociales de educación ambiental, para lograr del ciudadano un uso racional y eficiente de la energía (ahorro, empleo de transporte público...).
- Medidas legislativas con el establecimiento de normativas sobre calidad de aire por parte de las administraciones locales, regionales, nacionales e internacionales. La UE ha fijado una Directiva Marco de calidad del aire que establece las bases para lograr mejoras en la calidad del aire y en ella han de basarse las normativas de control de calidad de los países miembros.

**5.3.2. Medidas correctoras**, como la depuración del aire contaminado y estrategias de dispersión. Con ellas evitamos la descarga masiva de contaminantes a la atmósfera. Entre ellas podemos mencionar:

- La concentración y retención de partículas con equipos adecuados como los separadores basados en la acción de la gravedad; los filtros de tejido, en los que la corriente de aire con las partículas pasa a través de un tejido filtrante, etc.
- Los sistemas de depuración de gases que emplean mecanismos de absorción basados en la circulación de líquidos capaces de disolver el contaminante gaseoso, métodos de adsorción que emplean sólidos que retienen selectivamente los contaminantes, etc.
- La expulsión de los contaminantes por medio de chimeneas adecuadas, de forma que se diluyan lo suficiente, evitando concentraciones a nivel del suelo. En este caso se reduce la contaminación local, pero se pueden provocar problemas en lugares alejados de las fuentes de emisión.

#### 5.4. Efectos de la contaminación atmosférica

##### 5.4.1. Smog

La palabra inglesa smog (de smoke: humo y fog: niebla) se usa para designar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades como resultado de la combinación de unas determinadas circunstancias climatológicas y unos concretos contaminantes. Hay dos tipos diferentes de smog:

a) **Smog Industrial**, típico de ciudades grandes, con mucha industria, en las que, se queman grandes cantidades de carbón y petróleo con mucho azufre, en instalaciones industriales y de calefacción.

Se forma una mezcla de dióxido de azufre, gotitas de ácido sulfúrico formadas a partir del anterior y partículas sólidas en suspensión, que originan una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas y para la conservación de edificios. En los países desarrollados es menos frecuente, ya que los combustibles que originan este efecto, se queman en instalaciones con sistemas de depuración o dispersión mejores. En países en vías de desarrollo, como China o algunos países de Europa del Este, es un grave problema en algunas ciudades.

b) **Smog fotoquímico**, producido por una mezcla de contaminantes de origen primario (NO<sub>x</sub> e hidrocarburos volátiles) con otros secundarios (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forman en reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los primeros.

La mezcla carga el aire de compuestos dañinos para seres vivos y materiales y lo oscurece y tiñe de marrón rojizo. Es más frecuente en lugares con clima seco, cálido y soleado, con muchos vehículos y actividad industrial. El verano es la peor estación y, además, las inversiones térmicas, pueden agravar el problema en épocas en que se dificulta la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes.

##### 5.4.2. Lluvia ácida

- Se produce por la liberación de óxidos de nitrógeno y azufre procedentes de vehículos, industrias y centrales térmicas que usan combustibles de baja calidad. Los contaminantes pueden ser trasladados a grandes distancias por las corrientes atmosféricas, sobre todo cuando se emiten desde chimeneas altas que disminuyen la contaminación en las cercanías pero la trasladan a otros lugares.

- En la atmósfera los óxidos de nitrógeno y azufre son convertidos en ácido nítrico y sulfúrico que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida) o en forma de partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca). Los **Daños provocados** son:

a) Ecosistemas acuáticos. Disminución de especies en lagos y ríos. El pH inferior a 4 produce muerte de peces, anfibios, plantas e invertebrados.

b) Ecosistemas terrestres. Produce la “muerte de los bosques”. En los árboles provoca pérdida de color, caída de hojas y muerte de los árboles. En el suelo aumenta la acidez y los vuelve improductivos.

c) Edificios y construcciones. Produce corrosión de metales y descomposición de materiales como la caliza y el mármol, provocando el mal de la piedra que afecta a edificios, estatuas y monumentos.

#### 5.5. Destrucción de la capa de Ozono

- El ozono (O<sub>3</sub>) presente en la atmósfera tiene importantes repercusiones para la vida, a pesar de encontrarse en cantidades muy bajas. Cuando está presente en las zonas de la atmósfera más cercanas a la superficie (**ozono troposférico**) es un contaminante que suele formar parte del smog fotoquímico.

Parte del O<sub>2</sub> que se forma en la troposfera por la fotosíntesis, llega hasta la estratosfera (10-50 km), donde la fuerte radiación U.V. rompe la molécula en dos átomos de oxígeno, de los que uno puede unirse a otra molécula de O<sub>2</sub>, formando una de O<sub>3</sub>. Este proceso es continuo y reversible. Por eso, una parte del O<sub>2</sub>, se transforma en O<sub>3</sub> y se concentra entre los 25 y 40 km dentro de la estratosfera. Allí, el **ozono de la estratosfera** juega un importante papel protegiendo la vida en el planeta al impedir que las radiaciones ultravioletas lleguen a la superficie y destruyan células y organismos.

Uno de los principales problemas ambientales detectados en los últimos años ha sido la destrucción de parte de ese ozono estratosférico por emisiones de CFCs (clorofluorocarburos), utilizados en la fabricación de refrigerantes, extintores, aerosoles, y fumigantes en la agricultura (bromuro de metilo). Estas sustancias contienen átomos de cloro que se liberan y reaccionan con el O<sub>3</sub>, transformándolo de nuevo en O<sub>2</sub>. El cloro atómico actúa como catalizador, por lo que un solo átomo puede destruir miles de moléculas de ozono. Así, desde los años 80 ha ido disminuyendo la concentración y el espesor de esta "capa de ozono", que se ha hecho más notoria encima de los polos, donde la estratosfera es más delgada, formando el llamado "agujero" de la capa de ozono

- Las radiaciones solares que pasan a través de estos "agujeros" contienen una proporción de rayos ultravioleta considerablemente mayor que las radiaciones normales. Estas radiaciones podrían llegar a producir un incremento en cánceres de piel y otras enfermedades.

- Cuando la evidencia científica del daño causado por los CFCs se fue haciendo unánime, la industria aceptó la necesidad de desarrollar nuevos productos para sustituirlos y los gobiernos llegaron a acuerdos internacionales para limitar la fabricación de esos productos dañinos para el ozono. En la actualidad se considera que el problema está en vías de solución. Si las previsiones hechas en los últimos años se cumplen, la concentración de cloro en la estratosfera alcanzó su máximo a finales del siglo pasado y a partir de entonces empezó a disminuir hasta volver a su nivel natural a finales del próximo siglo.

### 5.6. El efecto invernadero

Se llama efecto invernadero al fenómeno por el que algunos gases de la atmósfera retienen parte de la energía que el suelo emite al haber sido calentado por la radiación solar. Este fenómeno es natural y lo poseen todos los planetas que tienen atmósfera, evitando que la energía recibida constantemente del Sol vuelva al espacio y se pierda. La energía remitida al exterior desde la Tierra, lo hace en forma de ondas de frecuencia más baja (infrarrojos), y es absorbida por los gases con efecto invernadero (G.E.I.). Esta retención de energía hace que se eleve la temperatura de la atmósfera, aunque al final, en condiciones normales, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura del planeta habría aumentado continuamente, cosa que por fortuna no ha sucedido.

Podríamos decir, de forma simplificada, que el efecto invernadero hace que la energía que llega a la Tierra sea "devuelta" más lentamente, por lo que es "mantenida" más tiempo junto a la superficie. En el conjunto de la Tierra se produce un efecto natural de retención del calor gracias a algunos G.E.I. La temperatura media en la Tierra es de unos 15°C y si la atmósfera no existiera sería de unos -18°C.

El efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debida a la actividad humana. Un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15 000 veces mayor que un gramo de CO<sub>2</sub>, pero como la cantidad de CO<sub>2</sub> es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la tabla:

G.E.I.	CO <sub>2</sub>	CFCs	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Acción relativa	1 (referencia)	15.000	25	230
Contribución real	76 %	5 %	13 %	6 %

En el último siglo la concentración de anhídrido carbónico y otros G.E.I. en la atmósfera ha ido creciendo constantemente debido a la actividad humana:

A comienzos de siglo por la quema de grandes masas de vegetación para ampliar las tierras de cultivo.

En los últimos decenios, por el uso masivo de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural, para obtener energía y por los procesos industriales.

La concentración media de dióxido de carbono se ha incrementado desde unas 275 ppm antes de la revolución industrial hasta 370 ppm en 2000 y 387 (un 40% más que en la revolución industrial), en 2013.

Los niveles de metano se han doblado en los últimos 100 años.

La cantidad de óxido de dinitrógeno se incrementa en un 0.25% anual

### 5.7. Cambio climático

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Estos cambios se producen a diversas escalas de tiempo y por varios parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. Son debidos a causas naturales y, en los últimos siglos, también a la acción del hombre.

El término suele usarse para hacer referencia a los cambios climáticos que suceden en el presente debido a la actividad humana, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático le da el siguiente sentido: *"Por 'cambio climático' se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables"*. Para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico.

#### Calentamiento global

Los informes de los científicos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), muestran evidencias del papel humano en el cambio climático global: la temperatura media ha aumentado 0,3-0,6 °C desde 1900, desde 1960 hace más calor y el nivel del mar ha subido 10-15 cm desde 1900.

En los últimos miles de años la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se mantuvo alrededor de 280 ppm, pero a partir de la Revolución Industrial, con la quema de combustibles fósiles, comenzó su vertiginoso ascenso a consecuencia de las más de 23.000 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera. El CO<sub>2</sub> es el principal responsable, aunque no el único, ya que existen otros G.E.I. mucho más potentes, aunque su incidencia no sea tanta, dada su menor concentración en la atmósfera: el metano, el óxido nitroso, los CFCs, y otros.

#### Consecuencias del calentamiento global

- Subida del nivel del mar (de 15 a 95 cm durante los próximos 100 años), con inundaciones de las zonas costeras. Esta subida será causada por el deshielo en tierra firme (Antártida, Groenlandia)) ya que el deshielo de los hielos flotantes no aumenta el nivel del mar.

- Disminución del albedo (luz reflejada), con lo que se elevarían aún más las temperaturas.

- Aumento de los peligrosos icebergs.

- El océano Ártico se descongelaría (hacia el 2080 estaría totalmente deshelado) y el agua sería menos densa por contener menos sal, lo que originaría problemas en las corrientes oceánicas.

- Desplazamiento de las zonas climáticas hacia los polos, a unos 5 km/año, lo que provocará la destrucción de la tundra ártica, cuyas turberas actúan como sumidero de unos 2400 km<sup>3</sup> de metano y CO<sub>2</sub>. La turba se encuentra retenida bajo el permafrost (suelo helado) que, al deshelarse y secarse, deja que dichos gases salgan hacia la atmósfera, realimentando positivamente el efecto invernadero.

- Aumento generalizado de las temperaturas de la troposfera, sobre todo en los continentes del hemisferio norte. Más días de calor y menos de frío al año. Subida de la temperatura entre 1,4 y 5,8 °C, respecto a las de 1900, durante los próximos 100 años.

- Cambios en la distribución de las precipitaciones, según las regiones: inundaciones, sequías (éste sería el caso de España) y huracanes. Avance de los desiertos subtropicales.
- Problemas de salud a causa del hambre y las enfermedades derivadas de una disminución de las cosechas y de la reducción de la calidad de las aguas.
- Reactivación de ciertas enfermedades producidas por mosquitos y otros vectores de transmisión, debido a la expansión de las zonas más calientes. Por ejemplo, la reintroducción de la malaria en Europa.

### Soluciones

El Protocolo de Kyoto (diciembre 1997) fue el primer intento para limitar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Su objetivo era reducirlas en los países desarrollados una media de un 5,2% hasta el año 2012, respecto a las emisiones correspondientes a 1990, con el fin de estabilizar concentración en la atmósfera. Sin embargo, no se impone ningún límite a las emisiones de los países pobres.

## 6. Los sistemas naturales y los modelos de desarrollo humano.

El sistema ecológico está constituido por la energía solar y lo que llamamos el capital terrestre (aire, agua, tierra de labor, biodiversidad, materias primas, etc.). Este sistema proporciona los recursos naturales al sistema económico y se encarga del reciclado de los desechos, la purificación del agua contaminada, la reducción de la polución del aire y otros impactos ambientales que genera el sistema en los procesos industriales. Por tanto, el sistema económico debe estar sometido a las limitaciones impuestas por el sistema ecológico para garantizar su supervivencia.

### 6.1. La crisis ambiental

Tradicionalmente el desarrollo económico se ha producido al margen de los sistemas naturales, lo que ha generado una serie de problemas conocidos como crisis ambiental. Los más significativos son:

- El crecimiento exponencial de la población y la concentración en grandes ciudades con problemas de inseguridad, salud, pobreza, etc.
- Consumo de recursos por encima de la capacidad de renovación.
- Contaminación del aire.
- Aumento de la concentración de gases con efecto invernadero que producen el cambio climático.
- Destrucción de suelos, bosques, y pérdida de biodiversidad.
- Deterioro de recursos renovables como el agua o la pesca.
- Aumento de las diferencias entre países ricos y pobres.
- Agravamiento de los riesgos naturales.

**6.2.** El crecimiento de la población humana mundial y su grado de desarrollo cultural, tecnológico y económico, han creado diversos **modelos de desarrollo** humano, que afrontaban de distinta manera también los problemas ambientales:

#### a) Explotación incontrolada

- Modelo en el que prima el desarrollo económico al margen de la preservación del medio natural. Se basa en promover un crecimiento económico (generación de recursos y bienes de consumo) sin tener en cuenta el deterioro del sistema natural.

- No cuantifica los costes ocultos que suponen los gastos ambientales, como el agotamiento de recursos, impactos o generación de residuos, que no se contabilizan en el precio de un producto, pero que provocan efectos nocivos en el medio ambiente, en la sociedad o en la salud.

- No permite mantener un crecimiento indefinido porque provoca el deterioro del sistema ecológico del que depende. Por ejemplo, agota los recursos.

- Las soluciones a los problemas del modelo se basan en confiar en los avances tecnológicos para encontrar nuevas fuentes de recursos.

**b) Conservacionismo**

- Prima la conservación del medio natural sobre el desarrollo económico. Propone detener el desarrollo económico para evitar daños en el entorno, proteger el medioambiente mediante medidas restrictivas, evitar la superpoblación y el agotamiento de los recursos.

- Este modelo supuso un fuerte enfrentamiento entre los países ricos y pobres. Los primeros ya habían alcanzado un fuerte desarrollo y empezaron a poner en duda su propio modelo de desarrollo de explotación incontrolada, mientras los países en vías de desarrollo necesitaban desarrollarse económicamente para erradicar la pobreza de su creciente población.

- Surgió en los años 70 con los informes del Club de Roma y la Conferencia de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente de Estocolmo de 1972. Hoy día este modelo no convence prácticamente a nadie.

**c) Desarrollo sostenible o sostenibilidad**

- Busca el equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del medio natural.

- Se puede definir como la actividad que satisface las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.

- Plantea que la sostenibilidad se ha de lograr a tres niveles: económica, ecológica y social.

- Fue propuesto por Gro Harlem Brundtland en el año 1987. Posteriormente, se desarrolló en la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 donde se concretó en el programa 21. Se decidió, además que los países desarrollados destinarán el 0,7 de su PIB al desarrollo de los países en vías de desarrollo. En la Conferencia Río + 10 de Johannesburgo se comprobó que la ayuda no llegaba a la mitad.

**6.3. Principios para alcanzar el desarrollo sostenible**

1. Principio de recolección sostenible: la tasa de consumo de un recurso potencialmente renovable ha de ser igual o inferior a su tasa de renovación.

2. Principio de vaciado sostenible. El consumo de recursos no renovables ha de ser igual o inferior a la tasa de creación de nuevos recursos renovables que puedan sustituirlos cuando se agoten.

3. Principio de la emisión sostenible. La tasa de emisión de contaminantes ha de ser inferior a la capacidad de asimilación o reciclado natural de los mismos por el entorno.

4. Principio de selección sostenible de tecnologías. Se trata de favorecer el empleo de nuevas tecnologías más limpias y eficientes y promover cambios sustituir recursos no renovables por renovables.

5. Principio de irreversibilidad cero. Reducir a cero los impactos ambientales que puedan originar daños irreversibles en el entorno. Por ejemplo, al extinguirse una especie ya se ha perdido para siempre.

6. Principio de desarrollo equitativo. Además de garantizar el desarrollo de las generaciones venideras, (solidaridad intergeneracional), se trata de fomentar solidaridad intrageneracional, es decir, conseguir mejor calidad de vida para todos los habitantes del planeta: acceso a la sanidad, educación, etc.

**6.4. La huella ecológica**

Es una forma de evaluar si nuestro consumo actual es sostenible o no. Se define como una medida del impacto ambiental total generado por una determinada población humana sobre el medio ambiente. Se expresa como la superficie terrestre (en hectáreas) necesaria para la producción de todos los recursos (alimentos, madera, energía...) que se consumen, para eliminar todos los residuos generados y para que se desarrolle la vegetación necesaria para absorber el CO<sub>2</sub> emitido por la quema de combustibles fósiles.

Se puede calcular en forma individual, para un país o para todos los habitantes de la Tierra. Actualmente, su valor es de 2,3 hectáreas por habitante, sin embargo, la capacidad de la Tierra es de 2,1 hectáreas.

Aunque es un valor poco fiable, es importante para fomentar la conciencia ecológica.